

3100096008164

**TUGAS AKHIR (NE.1701)**

**PENGEMBANGAN PROGRAM SIMULASI  
UNTUK APLIKASI PENGUJIAN  
KEHANDALAN SISTEM GOVERNOR  
PADA MOTOR INDUK KAPAL**



Rske  
003.3  
Sup  
p-1  
1996

MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

Oleh :

**WELLY SUPRASETYO**  
**NRP. 491 420 0284**

**TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
S U R A B A Y A  
1996**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	03-04-96
Tgl. Pengemb.	H
No. Agenda P.P.	6251

LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR (NE.1701)

JUDUL TUGAS AKHIR :

PENGEMBANGAN PROGRAM SIMULASI UNTUK APLIKASI PENGUJIAN  
KEHANDALAN SISTEM GOVERNOR PADA MOTOR INDUK KAPAL.



SURABAYA, MARET 1996

MENGETAHUI / MENYETUJUI

DOSEN PEMBIMBING



TJCEK SOEPRATNO

NIP. 130816215

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274  
Psw. 262, 5948757, Fax. 5947254

TUGAS AKHIR ( NE. 1701 )

Nama : Welly Suprasetyo  
Nomor Pokok : 491 420 0284  
Tanggal diberikan tugas : 20 September 1995  
Tanggal diselesaikan tugas :

JUDUL KARYA TULIS :

PENGEMBANGAN PROGRAM SIMULASI UNTUK APLIKASI PENGUJIAN  
KEHANDALAN SISTEM GOVERNOR PADA MOTOR INDUK KAPAL

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa,

Ir, Tjoek Suprayatno

Welly Suprasetyo

NIP. 130816215

NRP. 491 420 0284

Ir. Moch. Orianto BSE, MSc

NIP : 130 786 955

- 1 copy untuk : Arsip Jurusan
- 1 copy untuk : Arsip Dosen Pembimbing
- 1 copy untuk : Arsip Mahasiswa Ybs.

file:tabaru



---

INTISARI (ABSTRAKSI)

---

Pada Tugas Akhir yang berupa karya ilmiah dengan judul *"Pengembangan Program Simulasi Untuk Aplikasi Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal"* ini, kami membuat sebuah program komputer (*SoftWare*) berupa sebuah program simulasi dengan tujuan untuk menguji keandalan dan unjuk kerja sebuah sistem governor pada motor induk kapal.

Program simulasi ini nantinya akan sangat bermanfaat sekali sebagai sebuah *"Alat Ukur"* bagi pengujian sebuah sistem governor, maupun guna dikembangkan secara lebih lanjut bagi suatu *"Design Sistem Governor"*. Lebih dari pada itu, program simulasi ini juga memberikan hasil numerik dengan ketelitian yang tinggi. Keuntungan yang lain dari program simulasi ini adalah bahwa unjuk kerja sistem yang kita uji langsung dapat dilihat pada layar monitor.

Pembuatan program simulasi ini dengan menerapkan teori dasar teknik kontrol otomatis, metoda analisa numerik persamaan diferensial eksak, mekanika dan dinamika sistem, serta menggunakan bahasa pemrograman Turbo Pascal.



Pada karya tulis ini juga akan diberikan contoh - contoh (demonstrasi) pengujian sebuah governor dengan data-data yang diperoleh.

*Kupersembahkan karyaku ini khususnya  
buat adikku yang tersayang Alm. Timothy Benny  
Susilo Nugroho.*

*Bersukacitalah engkau di sisi NYA, biarkan kini  
kata Welly yang meneruskan cita - citamu menjadi  
seorang Tukang Insinyur.*

*Juga buat Mama dan Papa serta David  
adikku, dan Yts. Adik Hesty*

*Senin, 18 Maret 1996*

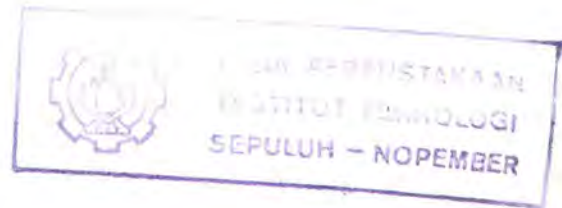
*Wtd*

*(Welly Suprasetyo)*

---

KATA PENGANTAR

---



Kami naikkan segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Karena semata-mata hanya oleh pimpinan dan pertolonganNYA, sehingga pada akhirnya kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir (NE.1701) yang berjudul *"Pengembangan Program Simulasi Untuk Aplikasi Pengujian Kehandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal"*.

Tugas Akhir yang berupa karya ilmiah ini merupakan sarat mutlak yang harus dipenuhi oleh mahasiswa program sarjana (S1) untuk menyelesaikan program study kesarjanaannya di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada Tugas Akhir ini kami berusaha mengaplikasikan teori-teori yang telah kami peroleh baik dari bangku kuliah maupun literatur-literatur yang sempat kami pelajari kepada bidang "MARINE ENGINEERING" melalui sebuah Pengembangan program simulasi (SoftWare) untuk pengujian kehandalan sistem governor.



Dengan terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini, ijinkanlah kami dengan segala kerendahan hati untuk mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu.

Secara khusus kami sebagai kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Tjoek Soeprajitno selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak DR. Ir. A. A. Masroeri MEng. selaku Koordinator Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Moch. Orianto BSE,MSc selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
4. Bapak Ir. I Wayan Lingga selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
5. Bapak Ir. Indrajaya Gerianto MSc. selaku Dosen Wali.
6. Seluruh keluargaku yang kucintai yang telah memberikan dorongan material dan sepiritual.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung.

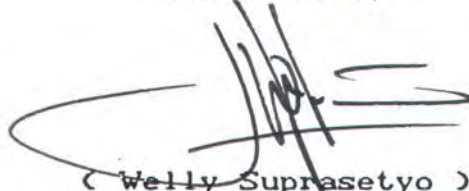
Harapan kami sebagai penulis kiranya karya tulis

ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya dan bagi ilmu pengetahuan di Indonesia pada umumnya. Tak lupa sebagai manusia, penulis tidak luput dari kekurangan dan kesalahan dalam menyusun atau merangkai kata dalam tulisan ini. Untuk itu saran dan kritik yang membangun selalu kami harapkan guna penyempurnaan selanjutnya.

Akhir kata kami selaku penulis mohon maaf atas semua kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi, baik secara sengaja maupun tidak disengaja selama melakukan penyusunan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 17 Januari 1996

Hormat kami,



( Welly Suprasetyo )

491 420 0284

---



---

## DAFTAR ISI

---

* Lembar Pengesahan .....	(i)
* Surat Tugas .....	(ii)
* Intisari (Abstraksi) .....	(iii)
* Kata Pengantar .....	(iv)
* Daftar Isi .....	(v)
* Daftar Notasi .....	(vi)
* Daftar Gambar .....	(vii)
* Daftar Lampiran .....	(viii)

### BAB I           Pendahuluan

I.1	Latar Belakang Permasalahan .....	(I-1)
I.2	Tujuan Penulisan .....	(I-2)
I.3	Batasan Permasalahan .....	(I-3)
I.4	Metodologi .....	(I-4)

### BAB II          Dasar Teori

II.1	Tinjauan Umum Tentang Governor .....	(II-1)
II.1.1	Fungsi dan Klasifikasi Governor .....	(II-1)
II.1.2	Karakteristik Governor .....	(II-2)
II.2	Metode Persamaan Deferenensial Eksak ...	(II-4)
II.3	Kriteria Kestabilan Routh .....	(II-6)
II.3.1	Penerapan Persamaan Deferenensial Eksak dan	



Kriteria Kesetabilan Routh	.....(II-18)
----------------------------	--------------

**BAB III Permasalahan**

III.1	Beberapa Karya Ilmiah (Tugas Akhir) mahasiswa yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini dan beberapa perbedaannya	.....(III-1)
III.2	Permasalahan yang timbul dari sistem pengontrolan kecepatan otomatis (Governor Sistem) pada motor induk kapal	.....(III-3)

**BAB IV Pembahasan dan Penyelesaian Permasalahan**

IV.1	Model Matematik System Dinamik Governor	(IV-1)
IV.1.1	System Governor	.....(IV-1)
IV.1.2	Model System Governor	.....(IV-2)
IV.1.3	Komponen - komponen System	.....(IV-4)
IV.1.4	Dinamika System	.....(IV-5)
IV.1.5	Diagram Blok System	.....(IV-6)
IV.1.6	Respon Keadaan Tunak	.....(IV-19)
IV.1.7	Respon Dinamis	.....(IV-21)
IV.2	Program Simulasi Komputer Sistem Governor	.....(IV-25)
IV.2.1	Diagram Alir Program	.....(IV-25)
IV.2.2	Print Out Program Simulasi Komputer Sistem Governor	.....(IV-42)

IV.2.3	Hasil Pengujian Program	.....(IV-62)
IV.2.3.1	Hasil Numerik Pengujian Program	.....(IV-73)
IV.2.3.2	Hasil Simulasi Grafik Pengujian Program	(IV-76)

BAB V	Kesimpulan	.....(V-1)
-------	------------	------------

- \* Penutup
- \* Daftar Pustaka
- \* Lampiran

---

 D A F T A R   N O T A S I
 

---

A1	: Luas torak pada power piston.
A2	: Luas torak pada Compensation system (daspot system).
$\alpha$	: Percepatan sudut mesin.
c1	: Perubahan posisi Z pada tiap perubahan kecepatan.
c2	: Gradien kurva ( $\partial F_s / \partial R$ )
c3	: Gradien kurva ( $\partial F_s / \partial N_o$ )
c8	: Gradien kurva ( $\partial Q / \partial Y$ )
c9	: $\partial N_o / \partial Q   \tau$ = Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan torsi dijaga konstan.
c10	: $\partial N_o / \partial T   q$ = Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan aliran bahan bakar dijaga konstan.
c11	: $c_{10} / c_9$
c12	: $c_8 / (K_{s1} - c_r \cdot c_2)$
c <sub>g</sub>	: Rasio roda gigi.
c <sub>r</sub>	: Rasio tuas.
c <sub>c1</sub>	: Besaran c1 pada PD eksak untuk perubahan kecepatan.



cc2	: Besaran c2 pada PD eksak untuk perubahan kecepatan.
ct1	: Besaran c1 pada PD eksak untuk perubahan torsi.
ct2	: Besaran c2 pada PD eksak untuk perubahan torsi.
D	: Determinan.
DD	: $-D$ = Nilai negatif dari determinan.
e	: Besaran posisi pergeseran mekanisme sambungan dan torak pada pilot valve system.
f	: Koefisien gesekan viscos.
Fc	: Gaya sentrifugal pada flyweight.
Fs	: Gaya pegas pada Ballhead system.
g	: Jarak dari pasak keudukan pegas.
h	: Jarak dari pasak ke pusat massa flyweight.
J	: Momen Inersia rotasi mesin.
Ks1	: Konstanta pegas pada Ballhead System.
Ks2	: Konstanta pegas pada Compensation (Daspot) system.
m	: Massa beban berupa torak pada Compensation system (daspot system), power piston system dan valve.
M	: Massa setiap flyweight (sama).
Mj	: $\rho$ = Massa jenis minyak yang digunakan.
Ni	: Kecepatan putaran mesin.
P	: Power mesin.

---

Pk1	: Tekanan bagian kiri torak pada power piston.
Pk2	: Tekanan bagian kanan torak pada power piston.
R	: Gaya tahanan penghalang pada compensation system (daspot system).
Ri	: Jarak pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula - mula.
Rubah	: Perubahan kecepatan yang diinginkan.
Rubah_torsi	: Perubahan torsi yang terjadi.
t	: Torsi mesin.
tL	: Torsi beban.
t2	: $\tau_2 = (R.A^2 \cdot \rho) / Ks1$
t3	: $\tau_3 = c10.J$
$\omega$	: Putaran sudut flyweight.
X	: Waktu dinamis.
x1	: Nilai x1 pada PD eksak.
x2	: Nilai x2 pada PD eksak.
Y	: Besaran posisi pergeseran bukaan valve bahan bakar.
Yk	: Besaran Y pada PD eksak untuk perubahan kecepatan
Yt	: Besaran Y pada PD eksak untuk perubahan torsi.
Ykecepatan	: Round (Yk).
Ytorsi	: Round (Yt).
z	: Besaran posisi ujung pegas dari datum.

---

---

DAFTAR GAMBAR

---

- Gambar 1 : Model Sistem Governor
- Gambar 2 : Diagram Blok Persamaan (1) dan (6)
- Gambar 3-1 : Mekanisme Penghubung
- Gambar 3-2 : Mekanisme Penghubung
- Gambar 3-3 : Mekanisme Penghubung
- Gambar 4 : Diagram Blok Persamaan (8), (11), dan (13)
- Gambar 5 : Diagram Blok Persamaan (15)
- Gambar 6 : Kurva Fuel Flow VS Engine Speed dengan Constant Torque
- Gambar 7 : Diagram Blok Persamaan (16) dan (19)
- Gambar 8 : Diagram Blok Keseluruhan Sistem
- Gambar 9 : Diagram Blok Persamaan (22)
- Gambar 10 : Hasil Simulasi Grafik Pengujian Sistem I
- Gambar 11 : Hasil Simulasi Grafik Pengujian Sistem II
- Gambar 12 : Hasil Simulasi Grafik Pengujian Sistem III
- Gambar 13 : Hasil Simulasi Grafik Pengujian Sistem IV



---

DAFTAR LAMPIRAN

---

1. Hasil Numerik Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal  
Governor 1  
Mesin MAN - B&W L42MCE 2240BHP  
Perubahan RPM = 50 RPM  
Input Perubahan RPM dan Power Mesin
  
2. Hasil Numerik Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal  
Governor 2  
Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200BHP  
Perubahan RPM = 50 RPM  
Input Perubahan RPM dan Power Mesin
  
3. Hasil Numerik Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal  
Governor 1  
Mesin MAN - B&W L42MCE 2240BHP  
Perubahan Torsi = 35 N.m  
Input Perubahan Torsi dan Power Mesin

4. Hasil Numerik Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada  
Motor Induk Kapal  
Governor 1  
Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200BHP  
Perubahan Torsi = 35 N.m  
Input Perubahan Torsi dan Power Mesin





---

B A B I

---

P E N D A H U L U A N

1.1 LATAR BELAKANG PERMASALAHAN

Dewasa ini kemajuan di bidang elektronika demikian pesatnya, sehingga banyak sekali manfaat dan kemudahan yang dapat diberikan. Khususnya setelah adanya era perkembangan di bidang komputerisasi. Pemanfaatan komputer dapat diaplikasikan pada segala bidang, antara lain bidang pendidikan, ekonomi, dan iptek.

Kelebihan yang dimiliki oleh pemakaian komputer adalah kecepatan prosesnya yang tinggi, ketelitian dan akurasi yang tinggi, kemampuan penyelesaian masalah yang kompleks dan rumit, serta penekanan biaya seoptimal mungkin.

Bagi seorang ahli khususnya di bidang sistem perkapalan, pemakaian komputer dalam menyelesaikan tugasnya adalah sangat tepat, karena permasalahan yang timbul dalam sebuah sistem perkapalan sangat luas dan kompleks. Dengan pemakaian komputer, maka hasil yang diperoleh akan jauh lebih optimal daripada dikerjakan secara manual. Hal ini karena pemakaian komputer juga sangat membantu untuk

menganalisa unjuk kerja suatu sistem maupun bagi pengujian - pengujian lainnya.

Keuntungan yang dapat diperoleh dengan pemakaian komputer untuk pengujian kehandalan suatu sistem antara lain :

1. Menekan sekecil mungkin human error.
2. Menekan pengaruh luar yang bersifat gangguan.
3. Meningkatkan ketelitian dan akurasi kerja.
4. Proses penyelesaian yang tinggi.
5. Penghematan waktu.
6. Meningkatkan efektifitas dan optimasi kerja.
7. Penghematan biaya.

## 1.2 TUJUAN PENULISAN

Dengan adanya latar belakang yang tergambar didepan, maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah membantu seorang teknik sistem perkapalan (Marine Engineer) dalam hal melakukan tugasnya memilih sistem yang baik, dalam arti sistem tersebut mempunyai unjuk kerja yang tinggi. Khususnya dalam tugas akhir ini akan dibahas pemilihan sistem governor (kontrol otomatis kecepatan).

Untuk keperluan itu maka dibuat program simulasi komputer (SoftWare), yang berupa :

- *Simulasi Dinamis Numerik Kecepatan dan Torsi pada Governor*



*Motor Induk Kapal dengan Input Perubahan Kecepatan dan Power Mesin.*

- *Simulasi Dinamis Numerik Kecepatan dan Torsi pada Governor Motor Induk Kapal dengan Input Perubahan Torsi dan Power Mesin.*
- *Simulasi Dinamis Grafik Kecepatan dan Torsi pada Governor Motor Induk Kapal dengan Input Perubahan Kecepatan dan Power Mesin.*
- *Simulasi Dinamis Grafik Kecepatan dan Torsi pada Governor Motor Induk Kapal dengan Input Perubahan Torsi dan Power Mesin.*

### 1.3 BATASAN PERMASALAHAN

Karena kompleknya sistem governor ini, maka kami hanya akan menganalisa model dari sistem saja. Hal ini sangat beralasan karena selain banyaknya type dan merk governor yang ada juga mengingat bahwa program simulasi ini harus handal, dalam arti harus dapat dipakai untuk menguji semua type dan merk governor.

Sehingga program ini tidak dibuat untuk satu detail data dari satu type / merk tertentu, tetapi hanya menunjukkan unjuk kerja dari model sistem secara keseluruhan.

Karena keterbatasan waktu yang ada, maka hasil pengujian Governor ini tidak diperbandingkan dengan hasil



pengujian Governor lainnya yang menggunakan peralatan konvensional.

Hasil pengujian Governor yang diperoleh disini sepenuhnya menurut bahasa pemrograman Turbo Pascal 7.

Data - data input pada pemrograman diperoleh dari beberapa literatur dan suatu pengasumsian saja, hal ini karena keterbatasan data Governor secara detail yang kami peroleh selama ini.

Sedangkan pembatasan masalah pada model fisik system Governor ini harus memenuhi asumsi-asumsi persamaan dasar sebagai berikut :

1. Tidak ada kelambatan putaran flyweight.
2. Gaya pemberat dari fly weight dan massanya merubah plunyer secara konstan.
3. Kenaikan flyweight sebanding dengan kecepatan sudutnya.
4. Penyediaan bahan bakar yang kontinyu dan selalu tersedia.
5. Meskipun penggunaan governor pada operasional engine sangat berpengaruh pada suplay dan pemakaian bahan bakar, namun input program ini tidak perlu mempertimbangkan irit atau borosnya penggunaan bahan bakar yang digunakan pada tiap engine yang di simulasikan.

#### 1.4 METODOLOGI

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini Metodologi yang

digunakan adalah :

1. Study literatur.
2. Pengamatan latar belakang permasalahan.
3. Pengumpulan data.
4. Pembahasan dan penyelesaian permasalahan.
5. Kesimpulan.

Dalam hal ini penyelesaian permasalahan yang digunakan adalah dengan memformulasikan sistem ke dalam sebuah program komputer bahasa Turbo Pascal 7.

Pemrograman ini menggunakan penerapan penyelesaian persamaan deferensial eksak dan kriteria kesetabilan Routh.







---

B A B II

---

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN UMUM TENTANG GOVERNOR

Sebuah governor beroperasi dengan mengatur / mengendalikan input bahan bakar ke mesin pada mesin diesel, sedangkan pada turbin uap beroperasi dengan mengatur / mengendalikan jumlah uap yang masuk ke mesin. Governor memanfaatkan gaya sentrifugal dari flyweight yang berputar selaras dengan putaran mesin. Gaya sentrifugal ini selalu diimbangi oleh gaya pegas pada ballhead system sebagai pengatur putaran mesin yang dikehendaki.

Governor mekanis menggerakkan secara langsung sincronizer system sebagai pengatur penyediaan bahan bakar melalui sistem sambungan mekanis, sedangkan untuk governor hidrolis memanfaatkan power piston system dan pilot valve system untuk menambah daya yang menggerakkan sincronizer system.

2.1.1 FUNGSI DAN KLASIFIKASI GOVERNOR

Klasifikasi governor menurut fungsinya sebagai berikut :

a. Governor kecepatan konstan

Berfungsi untuk mempertahankan kecepatan mesin pada saat ada perubahan beban torsi.

b. Governor kecepatan variable

Berfungsi untuk mempertahankan setiap kecepatan mesin dari kecepatan idle sampai kecepatan maksimum, tanpa tergantung perubahan beban torsi. Kecepatan disini disetel dengan tangan.

c. Governor pembatas kecepatan

Berfungsi untuk membatasi kecepatan maksimum dan minimum mesin, atau untuk membatasi kecepatan maksimumnya saja.

d. Governor pembatas beban

Berfungsi untuk membatasi beban torsi pada mesin untuk tiap kecepatan.

Beberapa governor dapat direncanakan untuk melakukan dua atau lebih fungsi diatas dengan menggabungkan mekanisme pengoperasian komponen - komponen sistem yang terkait.

### 2.1.2 KARAKTERISTIK GOVERNOR

Karakteristik governor yang sangat berperan dalam derajat pengendalian governor adalah :

a. Penurunan kecepatan (speed drop)

$$p = 100 (f_0 - f_1) / f_1$$

dimana :  $P$  = penurunan kecepatan

$f_0$  = kecepatan tanpa beban

$f_1$  = kecepatan beban penuh

b. Pengaturan Isokhron (Isochronous)

Pengaturan isokhron ini bertujuan untuk mempertahankan kecepatan mesin agar benar - benar konstan pada segala beban, sehingga penurunan kecepatannya bernilai nol. Hal ini dapat terjadi dengan memanfaatkan compensation system (daspot).

c. Kepekaan (sensitifity)

Kepekaan adalah perubahan kecepatan yang diperlukan sebelum governor melakukan gerakan pengaturan dari bahan bakar. Hal ini biasanya dinyatakan dalam persentase kecepatan normal mesin.

d. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan governor untuk menahan dan memegang kedudukan tertentu untuk setiap kecepatan input yang diberikan dan untuk mengembalikan pada kedudukan kesetimbangan setelah digeser dari posisi semula.

e. Ayunan (hunting)

Hal ini karena keterlambatan bekerjanya mekanisme kendali yang disebabkan kurangnya kepekaan atau kurangnya daya, sehingga sistem dapat memperlambat atau mempercepat



terlalu banyak.

f. Daya

Daya yang diperlukan untuk menggerakkan sincronizer system yang mengatur banyaknya aliran bahan bakar harus mencukupi. Untuk mengatasi hal ini maka pada governor mekanis dapat ditingkatkan dayanya dengan meningkatkan gaya sentrifugal, sedangkan untuk governor hidrolis dapat dengan mudah ditingkatkan dengan menambah tekanan minyak pada power piston system.

## 2.2 METODE PERSAMAAN DEFERENSIAL EKSAK

Persamaan yang diperoleh dari Respon dinamis sistem governor adalah :

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = -\frac{c_3.c_9.c_{12}}{\tau_2.\tau_3} .x_1(t) - \frac{(1+c_3.c_9.c_{12})}{\tau_3} .x_2(t) + Y(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan umum deferensial adalah :

$$A y'' + B y' + C y = 0$$

$$\text{Sehingga : } y = x_1$$

$$y' = x_2$$

$$y'' = \frac{dx_2(t)}{dt}$$

$$\text{dan : } A = 1$$

$$B = (1+c_3.c_9.c_{12})/\tau_3$$

$$C = (c3.c9.c12)/(\tau2.\tau3)$$

$$D = \text{Determinan} = (B - 4.A.C)^{1/2}$$

1. Jika D (determinan) > 0, maka :

$$x1 = - \frac{B + (D)^{1/2}}{2A}$$

$$x2 = - \frac{B - (D)^{1/2}}{2A}$$

$$c1 = c2$$

$$Y = c1^{x1} + c2^{x1}$$

2. Jika D (determinan) < 0, maka :

$$x1 = - B / 2A$$

$$x2 = \frac{(-D)^{1/2}}{2A}$$

$$c2 = (-x1.c1) / 2$$

$$Y = c1^{x1}.\cos x2 + c2^{x1}.\cos x2$$

3. Jika D (determinan) = 0, maka :

$$x1 = -B / 2A$$

$$c2 = -x1.c1$$

$$Y = c1^{x1} + c2^{x1}$$

### 2.3 KRITERIA KESETABILAN ROUTH

Persoalan yang paling penting dalam sistim kontrol linier adalah mengenai kesetabilan. Misalnya, pada kondisi yang bagaimana suatu sistem akan menjadi tidak setabil ? Jika tidak stabil, bagaimana cara menstabilkan sistim tersebut ? Pada pasal 6-5 buku teknik kontrol otomatis telah disebutkan bahwa suatu sistim kontrol adalah stabil jika dan hanya jika semua pole loop tertutup terletak disebelah di kiri sumbu khayal bidang  $s$ . Karena sebagian besar sistem loop tertutup linier mempunyai fungsi alih loop tertutup dalam bentuk :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

dimana  $a$  dan  $b$  adalah konstanta dan  $m \leq n$ , maka harus menguraikan polinomial  $A(s)$  atas faktor-faktornya untuk mencari pole-pole loop tertutup. Untuk polinomial dengan derajat lebih besar dari dua maka proses ini memerlukan waktu yang sangat lama. Suatu kriteria sederhana yang dikenal sebagai kriteria kesetabilan roth, memungkinkan kita untuk menentukan banyaknya pole loop tertutup yang terletak dibelah kanan sumbu khayal di bidang  $s$  tanpa menguraikan polinomial tersebut atas faktor-faktornya.

Kriteria kesetabilan roth memberitahukan kita bahwa



ada atau tidak ada akar positif pada akar polinomial tanpa menyelesaikan persamaan tersebut. Kriteria ini hanya dapat diterapkan pada polinomial dengan sejumlah terhingga suku-suku. Jika kriteria ini ditetapkan pada suatu sistem kontrol, maka informasi mengenai kestabilan mutlak dapat diperoleh secara langsung dari koefisien-koefisien persamaan karakteristik.

Prosedur dalam kriteria Routh adalah sebagai berikut :

1. Tuliskan polinomial dalam  $s$  sesuai dengan bentuk berikut:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana koefisien-koefisien tersebut adalah besaran nyata. Kita anggap bahwa  $a_n \neq 0$  ; sehingga tidak ada akar nol.

2. Jika ada koefisien-koefisien yang berharga nol atau negatif dimana paling tidak terdapat satu koefisien yang berharga positif, maka terdapat satu atau lebih akar khayal atau yang mempunyai bagian nyata positif. Oleh karena itu, pada kasus ini, sistem tidak stabil. Jika kita hanya tertarik pada kestabilan mutlak maka tidak perlu mengikuti prosedur selanjutnya. Ingat bahwa semua koefisien harus positif. Ini merupakan syarat perlu, seperti dapat dilihat dari argumentasi berikut : suatu

polinomial dalam  $s$  yang mempunyai koefisien - koefisien nyata (real) selalu dapat difaktorkan kedalam faktor-faktor linier dan kuadratik, seperti  $(s + a)$  dan  $(s^2 + bs + c)$  dimana  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah nyata. Faktor linier menghasilkan akar nyata sedangkan faktor kuadratik menghasilkan akar-akar kompleks dari polinomial tersebut. Faktor  $(s^2 + bs + c)$  menghasilkan akar-akar yang mempunyai bagian nyata negatif hanya jika  $b$  dan  $c$  keduanya positif. Agar semua akar mempunyai bagian nyata negatif, maka konstanta  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , dan seterusnya pada semua faktor harus positif. Hasil perkalian sejumlah faktor linier dan kuadratik yang hanya mengandung koefisien positif selalu menghasilkan polinomial dengan koefisien - koefisien yang positif. Harus diingat bahwa kondisi semua koefisien berharga positif belum cukup untuk menjamin kesetabilan. Syarat perlu tetapi belum cukup untuk kesetabilan adalah bahwa semua koefisien dari persamaan (1) harus ada dan bertanda positif. ( jika semua koefisien bertanda negatif maka koefisien - koefisien ini dapat dibuat positif dengan mengalihkan kedua persamaan tersebut dengan  $-1$  ).

3. Jika semua koefisien berharga positif susunlah

koefisien

polinomial tersebut dalam baris dan kolom sesuai pola berikut :

$$\begin{array}{cccccccc}
 s^n & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & . & . & . \\
 s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & . & . & . \\
 s^{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & . & . & . \\
 s^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & . & . & . \\
 s^{n-4} & d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 s^2 & e_1 & e_2 & . & . & . & . & . \\
 s^1 & f_1 & . & . & . & . & . & . \\
 s^0 & g_1 & . & . & . & . & . & .
 \end{array}$$

Koefisien - koefisien  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ , dan seterusnya dihitung sebagai berikut :

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$$

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_0 a_5}{a_1}$$

$$b_3 = \frac{a_1 a_6 - a_0 a_7}{a_1}$$

Perhitungan koefisien dilanjutkan sampai semua harga  $b$  yang diperoleh kemudian sama dengan nol. Pola yang sama dari perkalian silang



koefisien-koefisien dua baris di atasnya digunakan dalam menghitung koefisien koefisien  $c$ ,  $d$ ,  $e$  dan seterusnya, jadi :

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}$$

$$c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_4}{b_1}$$

$$c_3 = \frac{b_1 a_7 - a_1 b_6}{b_1}$$

dan . . . .

$$d_1 = \frac{c_1 b_2 - b_1 c_2}{c_1}$$

$$d_2 = \frac{c_1 b_4 - b_1 c_3}{c_1}$$

. . . .

Proses ini berlangsung sampai baris ke  $n$  telah diselesaikan. Susunan lengkap dari koefisien adalah berupa segitiga. Perhatikan bahwa dalam membuat susunan tersebut, suatu baris dapat dibagi atau dikalikan dengan suatu bilangan positif untuk menyederhanakan perhitungan numerik berikutnya tanpa mengubah kesimpulan kesetabilan.

Kriteria kesetabilan Routh menyatakan bahwa

banyaknya akar-akar persamaan (1) yang mempunyai bagian nyata positif sama dengan banyaknya perubahan tanda dari koefisien pada kolom pertama dari susunan tersebut. Harus diperhatikan bahwa harga eksak dari suku-suku pada kolom pertama tidak perlu diketahui ; hanya diperlukan tandanya saja. Syarat perlu dan cukup bahwa akar-akar persamaan (1) berada di sebelah kiri sumbu hayal bidang  $s$  adalah bahwa semua koefisien persamaan (1) harus positif dan semua suku pada kolom pertama dari susunan tersebut harus bertanda positif.

Contoh :

Marilah kita terapkan kesetabilan routh pada polinomial orde 3 berikut :

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0$$

dimana semua koefisien tersebut merupakan bilangan positif.

susunan koefisiennya menjadi :

$$\begin{array}{r} s^1 \quad \quad a_0 \quad \quad a_1 \\ s^2 \quad \quad a_1 \quad \quad a_2 \\ s^1 \quad \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} \\ s^0 \quad \quad a_3 \end{array}$$

Kondisi bahwa semua akar mempunyai bagian nyata negatif diberikan oleh :

contoh tinjau polinomial berikut:

$$s^4 + s^3 + 3s^2 + 4s + 5 = 0$$

Marilah kita ikuti prosedur yang baru saja diberikan untuk membuat susunan koefisien. ( Dua baris pertama dapat diperoleh secara langsung dari polinomial yang diberikan. Suku-suku berikutnya diperoleh dari kedua baris pertama ini. Jika ada beberapa koefisien yang kosong, maka dapat diganti dengan nol pada susunan tersebut.

$$\begin{array}{rcl}
 s^4 & 135 & s^4 & 135 \\
 s^3 & 240 & s^3 & 240 \leftarrow \text{Baris kedua dibagi} \\
 & & & \text{dua.} \\
 & & 120 & \\
 s^2 & 15 & s^2 & 15 \\
 s^1 & -6 & s^1 & -3 \\
 s^0 & 5 & s^0 & 5
 \end{array}$$

Pada contoh ini, banyaknya perubahan tanda koefisien pada kolom pertama adalah dua. Ini berarti bahwa ada dua akar dengan bagian nyata positif. Perhatikan bahwa hasil ini tidak berubah jika koefisien suatu baris dikalikan atau dibagi dengan suatu bilangan positif, untuk menyederhanakan perhitungan.

**Kasus khusus.** Jika suku kolom pertama suatu baris sama dengan nol tetapi suku-suku berikutnya tidak sama



dengan nol atau memang tidak ada suku berikutnya, maka suku tersebut diganti dengan suatu bilangan positif yang sangat kecil  $\epsilon$  yang selanjutnya digunakan untuk menghitung suku-suku berikutnya:

$$s^3 + 2s^2 + s + 2 = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Susunan koefisiennya adalah :

$$\begin{array}{rcl} s^3 & 1 & 1 \\ s^2 & 2 & 2 \\ s^1 & 0 \approx \epsilon & \\ s^0 & 2 & \end{array}$$

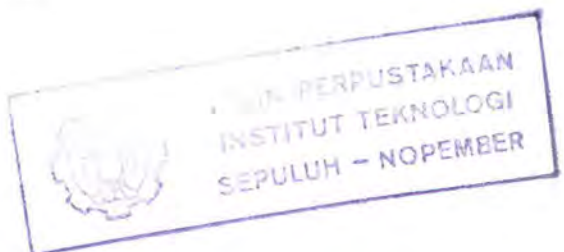
Jika tanda koefisiensi diatas nol ( $\epsilon$ ) sama dengan tanda koefisien dibawah nol , maka berarti ada sepasang akar khayal. Pada kenyataannya persamaan (2) mempunyai dua akar di  $s = \pm j$  .

Meskipun demikian jika tanda koefisien di atas nol ( $\epsilon$ ) berlawanan dengan tanda koefisien dibawah nol, maka berarti ada satu perubah tanda. Sebagai contoh, untuk persamaan berikut :

$$s^3 - 3s + 2 = (s-1)^2(s+2) = 0$$

susunan koefisien adalah :

$$\begin{array}{l} \text{Satu perubah tanda :} \\ \text{satu perubah tanda :} \end{array} \left[ \begin{array}{rcl} s^3 & 1 & -3 \\ s^2 & \infty \approx \epsilon & 2 \\ s^1 & -3 - \frac{2}{\epsilon} & \\ s^0 & & \end{array} \right]$$



Ada dua perubahan tanda dari koefisien pada kolom pertama. Ini sesuai dengan hasil benar yang ditunjukkan oleh bentuk uraian faktor persamaan polinomial tersebut.

Jika semua koefisien pada suatu baris turunan sama dengan nol, maka berarti ada akar-akar yang besarnya sama terletak berlawanan arah secara radial pada bidang S, yakni dua akar nyata dengan besar sama dan/atau dua akar khayal konjugasi. Pada kasus semacam ini, perhitungan koefisien-koefisien berikutnya pada susunan tersebut dapat dilanjutkan dengan membentuk suatu polinomial pembantu dengan koefisien dari baris terakhir dan kemudian menggunakan koefisien dariturunan polinomial ini untuk menentukan koefisien baris berikutnya. Akar-akar dengan besar sama dan terletak berlawanan secara radial pada bidang S tersebut dapat diperoleh dengan menyelesaikan polinomial pembantu, yang selalu genap. Untuk polinomial pembantu derajat  $2n$ , ada  $N$  pasang akar yang besarnya sama dan berlawanan secara radial. Sebagai contoh, tinjau persamaan berikut :

$$s^5 + 2s^4 + 24s^3 + 48s^2 - 25s - 50 = 0$$

Susunan koefisiennya adalah :

$s^5$	1	24	-25	
$s^4$	2	48	-50	← Polinomial pembantu $P(s)$

$$s^3 \quad 0 \quad 0$$

Semua suku pada baris  $s^3$  sama dengan nol. Selanjutnya polinomial pembantu dibentuk dari koefisien baris  $s^4$ . Polinomial pembantu  $P(s)$  yang diperoleh adalah :

$$P(s) = 2s^2 - 48s - 50$$

yang menunjukkan bahwa ada dua pasang akar yang besarnya sama dan berlawanan tanda. Pasangan ini diperoleh dengan menyelesaikan persamaan polinomial pembantu  $P(s)=0$ . Turunan  $P(s)$  terhadap  $s$  adalah :

$$\frac{dP(s)}{ds} = 8s + 96$$

Suku-suku pada baris  $s^3$  diganti dengan koefisien-koefisien persamaan yang terakhir ini, yaitu 8 dan 96. Selanjutnya susunan koefisiennya menjadi :

$$s^3 \quad 1 \quad 24 \quad -25$$

$$s^4 \quad 2 \quad 48 \quad -50$$

$$s^3 \quad 8 \quad 96 \quad \leftarrow \text{-- koefisien-koefisien dari } dP(s)/ds$$

$$s^1 \quad 112,7 \quad 0$$

$$s^0 \quad 5 \quad 0$$

$s$



Kita lihat bahwa ada satu perubahan tanda kolom pada kolom pertama susunan baru tersebut. Jadi, persamaan asal memiliki satu akar dengan bagian nyata positif. Dengan menyelesaikan akar-akar persamaan polinomial,

$$2s^4 + 48s^2 - 50 = 0$$

Kita peroleh :

$$s^2 = 1, \quad s^2 = -25$$

atau

$$s = \pm 1, \quad s = \pm j 5$$

Dua pasang akar ini adalah sebagian akar persamaan asal. Sebenarnya, persamaan asal dapat ditulis dalam bentuk uraian faktor sebagai berikut :

$$(s + 1) (s - 1) (s + j5) (s - j5) (s + 2) = 0$$

Jelaslah bahwa persamaan asal mempunyai satu akar dengan bagian nyata positif.

**ANALISIS KESETABILAN RELATIF.** Kriteria kesetabilan routh memberikan jawaban pertanyaan mengenai kesetabilan mutlak. Ini, dalam beberapa kasus praktis, masih belum cukup. Biasanya kita memerlukan informasi mengenai kesetabilan relatif sistem. Suatu pendekatan yang dapat dipergunakan untuk menguji kesetabilan relatif adalah menggeser sumbu bidang  $s$  dan menerapkan kriteria kesetabilan routh. Dalam hal ini, kita mensubstitusikan :

$$s = z - \sigma \quad (\sigma = \text{konstanta})$$

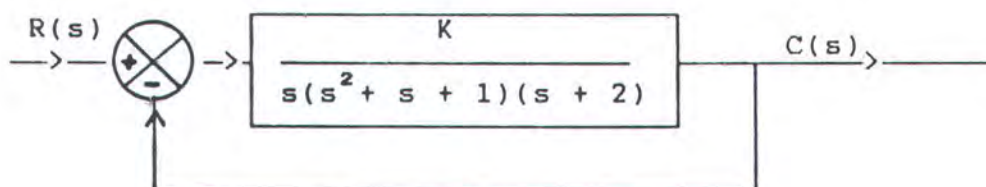
ke dalam persamaan karakteristik sistem, menulis polinomial dalam variabel  $z$ , dan menerapkan kriteria kesetabilan routh pada polinomial yang baru dalam  $z$ . Banyaknya perubahan tanda pada kolom pertama dari susunan koefisien yang diperoleh dari polinomial dalam  $z$  sama dengan banyaknya akar yang terletak disebelah kanan garis vertikal  $s = -\sigma$ . Jadi pengujian ini akan mengungkapkan banyaknya akar yang terletak di sebelah kanan garis vertikal  $s = -\sigma$ .

Penerapan kriteria kesetabilan routh pada analisa sistim kontrol. Kriteria kesetabilan routh mempunyai keterbatasan kegunaan dalam analisa sistem kontrol linier terutama karena tidak memberikan saran mengenai cara menstabilkan sistem yang tidak stabil. Meskipun demikian, kriteria ini menguji harga-harga yang menimbulkan ketidakstabilan. Berikut ini kita akan meninjau persoalan penentuan daerah kesetabilan suatu harga parameter.

Tinjau sistem yang ditunjukkan pada gambar 2-1.

Mari

kita tentukan daerah harga  $K$  agar sistem tetap stabil.



Gambar 2-1. sistem kontrol

Fungsi alih lup tertutup sistem ini adalah :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(s^2 + s + 1)(s + 2) + K}$$

Persamaan karakteristiknya adalah :

$$s(s^2 + s + 1)(s + 2) + K = 0$$

Susunan koefisien untuk persamaan ini adalah :

$$\begin{array}{rclcl} s^4 & 1 & 3 & K & \\ s^3 & 3 & 2 & 0 & \\ s^2 & 1 & K & & \\ s^1 & 2 - \frac{0}{7} & K & & \\ s^0 & K & & & \end{array}$$

Agar stabil, K harus positif , dan semua koefisien pada kolom pertama harus positif. Oleh karena itu, :

$$\frac{14}{9} > K > 0$$

Pada saat  $K = \frac{14}{9}$  sistim menjadi berosilasi dan, secara matematis, osilasi ini berlangsung terus pada amplitudo konstan.

### 2.3.1 PENERAPAN PERSAMAAN DEFERENSIAL EKSAK DAN KRITERIA KESETABILAN ROUTH



Penerapan persamaan deferensial eksak dalam iterasi numerik untuk teknik kontrol otomatis ini sangat tepat karena mempunyai nilai ketelitian yang tinggi (berorde dua), sehingga dapat diketahui nilai-nilai numerik perubahan kecepatan dan / atau torsi mesin sampai beberapa desimal. Hal ini sangat membantu dalam menganalisa suatu titik dengan lebih tepat guna pengembangan system lebih lanjut.

Penerapan kriteria kesetabilan routh sangat membantu dalam hal untuk mengetahui suatu sistem governor yang dianalisa ini setabil atau tidak, jika tidak setabil maka dengan merubah konstantanya akan dapat dicapai kesetabilan dan optimasi system.





---

B A B    I I I

---

P E R M A S A L A H A N

3.1 BERAPA KARYA ILMIAH (TUGAS AKHIR) MAHASISWA YANG BERKAITAN  
DENGAN TUGAS AKHIR INI DAN BEBERAPA PERBEDAANNYA

Karya ilmiah (Tugas Akhir) yang ada kaitannya dengan  
Tugas Akhir yang dibahas ini antara lain adalah :

1. Judul Tugas Akhir :

Analisa Automatik Kontrol Governor Motor Induk Pada Kapal  
Sebagai Pengatur Kecepatan Secara Hidrolis.

Nama Mahasiswa (Pengarang) :

Didik Soesanto

Nrp.485 420 0097

Isi Tugas Akhir :

a. Menganalisa adanya pengaruh perubahan terhadap elemen ukur  
pada performansi sistem hidrolis dari governor motor diesel  
sebagai motor induk kapal.

b. Menganalisa atau mencari aksi kontrol proporsional plus  
integral pada sistem kontrol hidrolis.



- c. Menganalisa respon terhadap gangguan torsi pada kontrol proporsional.
- d. Menganalisa respon transien, kestabilan dan kesalahan keadaan tunak serta sensitifitas dari sistem tersebut.

Dengan adanya Tugas Akhir yang berupa karya ilmiah dengan judul "*Pengembangan Program Simulasi Untuk Aplikasi Pengujian Keandalan Sistem Governor Pada Motor Induk Kapal*" ini, terdapat beberapa perbedaan yang sangat mendasar, antara lain :

Saudara Didik Susanto hanya menganalisa beberapa point yang disebutkan diatas melalui analisa manual pada satu sistem governor tertentu.

Sedangkan pada Tugas Akhir ini ditekankan untuk aplikasi pemilihan / pengujian model dari sistem governor yang meliputi semua variable-variable dasar yang termasuk didalamnya, adapun variable - variable itu antara lain :

- Rasio roda gigi
- massa tiap flyweight
- jarak pasak ke pusat massa flyweight
- jarak pasak ke kedudukan pegas
- kecepatan awal
- jarak dari pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula-mula
- luas torak pada daspot

- massa jenis minyak yang digunakan
- tahanan pada penghalang
- momen enersia rotasi mesin
- konstanta pegas pada flyweight
- konstanta pegas pada daspot
- gradien kurva  $[dQ/dY]$
- nilai perubahan  $[dN_o/dQ]_t$
- nilai perubahan  $[dN_o/dT]_q$
- perubahan putaran yang dikehendaki
- perubahan torsi yang dikehendaki

Setelah itu disini dibuat program simulasi untuk dapat mengetahui numerik dan grafik unjuk kerja dari sistem governor yang diuji tersebut. Termasuk didalamnya masalah kesetabilannya.

### 3.2 PERMASALAHAN YANG TIMBUL DARI SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN OTOMATIS (GOVERNOR SISTEM) PADA MOTOR INDUK KAPAL

Seorang Marine Engineer dalam memilih suatu sistem yang akan dipasang atau dintegrasikan dalam sebuah permesinan kapal haruslah mempunyai alasan-alasan dan dasar-dasar yang kuat mengapa sistem tersebut yang dipilih. Sedangkan sistem-sistem pembantu yang tersedia dipasaran sangatlah banyak jumlahnya, baik type maupun merknya.

Alasan-alasan dan dasar-dasar pemilihan yang digunakan



---

antara lain haruslah bersifat analisa teknis, yang tentunya menuntut dilakukannya analisa-analisa melalui perhitungan - perhitungan yang sangat kompleks dan rumit. Apalagi jika sistem yang harus dianalisa berjumlah banyak, seperti halnya pemilihan sistem governor pada motor induk kapal, tentunya akan membutuhkan waktu yang sangat panjang.

Untuk keperluan itu sangat tepat apabila dibuat sebuah program simulasi komputer yang dapat digunakan untuk pengujian kehandalan sistem governor. Hal ini mengingat banyaknya keuntungan pemakaian program simulasi komputer untuk keperluan tersebut.

Dua hal yang perlu ditekankan dalam fisualisasi program ini adalah terjadinya perubahan kecepatan dan perubahan torsi selama olah gerak kapal baik saat berlayar maupun saat di pelabuhan. Dimana adanya perubahan kecepatan dan torsi yang terjadi haruslah dapat sesegera mungkin disetabilkan oleh sistem governor ini.

Sebuah sistem governor yang baik akan dengan cepat menstabilkan adanya input yang berupa masukkan perubahan kecepatan dan torsi tersebut, sehingga tentunya semakin baik suatu sistem governor, maka akan semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetabilannya.





---

**B A B IV**

---

**PEMBAHASAN DAN PENYELESAIAN PERMASALAHAN****4.1 MODEL MATEMATIK SYSTEM DINAMIK GOVERNOR**

Untuk membuat model matematik system Governor sebagai alat kontrol kecepatan otomatis, maka terlebih dahulu harus dipahami cara kerja dari blok - blok system dan cara kerja dari system secara keseluruhan. Dari system tersebut kemudian dibuat sebuah model fisik yang mewakili keseluruhan system.

Model fisik yang dibuat sangat membantu sekali dalam kaitannya dengan analisa suatu sistem. Sehingga system tidak perlu dibuat secara detail, tapi cukup diwakili oleh model tersebut.

Dari model yang dibuat ini maka selanjutnya dapat dengan mudah menganalisa dinamika dari system tersebut. Dinamika system ini merupakan urutan gerak dari suatu rangsangan input ke suatu output tertentu yang diinginkan atau dikehendaki.

**4.1.1 SYSTEM GOVERNOR**

System governor merupakan sekumpulan peralatan (komponen - komponen system) yang bekerja secara terintegrasi membentuk suatu system yang bekerja secara bersama - sama untuk merubah adanya suatu rangsangan input berupa perubahan kecepatan, dimana



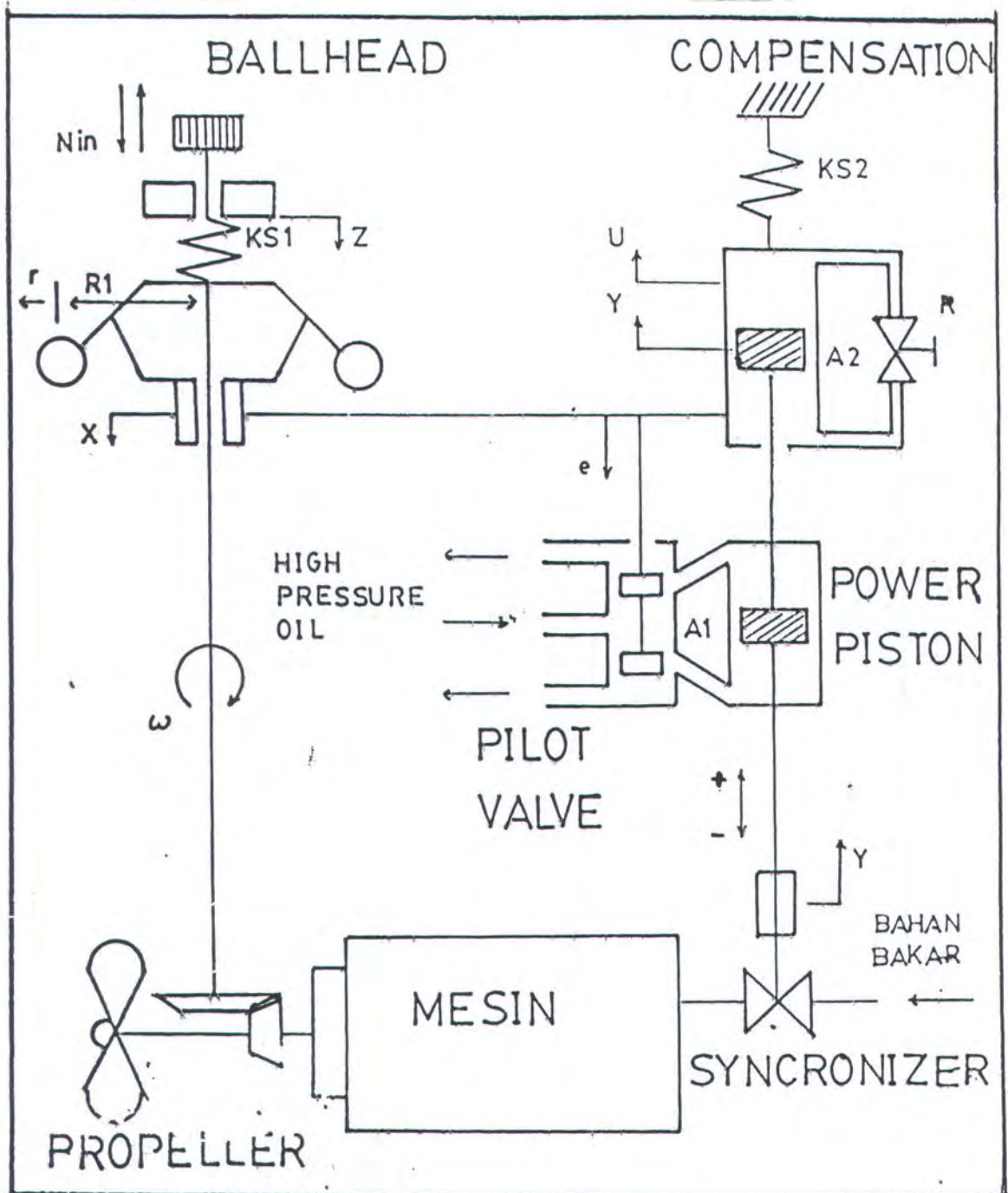
perubahan kecepatan akan secara otomatis disetabilkan oleh system governor ini melalui pengaturan katub pemasok bahan bakar.

Jadi jika kecepatan putar mesin bertambah maka dengan sendirinya katub pemasok bahan bakar akan mengurangi debit bahan bakar yang diberikan, sehingga kecepatan putar mesin akan berkurang. Sebaliknya jika kecepatan putar mesin berkurang maka dengan sendirinya katub pemasok bahan bakar akan menambah debit bahan bakar yang diberikan, sehingga kecepatan putar mesin akan bertambah.

#### 4.1.2 MODEL SYSTEM GOVERNOR

Dari system Governor yang sangat rumit dapat dibuat model system yang sangat sederhana namun sudah dapat mewakili system secara keseluruhan seperti terlihat pada gambar dibawah ini.





Gambar 1

#### 4.1.3 KOMPONEN - KOMPONEN SYSTEM

Adapun komponen-komponen system yang terkait untuk membentuk satu system governor adalah :

##### 1. POWER PISTON SYSTEM

Power piston ini berfungsi untuk merubah output governor yang berupa penambahan atau pengurangan injeksi bahan bakar. Bekerjanya power piston ini karena adanya perbedaan tekanan dari minyak bertekanan tinggi pada bagian atas dan bawah piston.

##### 2. PILOT VALVE SYSTEM

Pilot Valve system mengatur masukan aliran minyak bertekanan tinggi ke atas atau ke bawah power piston. Pilot valve memperoleh input dari gerakan mekanisme sambungan (link).

##### 3. BALLHEAD SYSTEM

Ballhead system terdiri dari flyweight, pegas pengatur dan sebuah tuas throttle. Putaran flyweight dihubungkan langsung dengan putaran mesin melalui sebuah reduction gear. Putaran ini menghasilkan gaya sentrifugal yang besarnya tergantung pada kecepatan putar flyweight. Pegas yang digunakan mempunyai konstanta tertentu dan berkaitan dengan tuas throttle yang digunakan untuk mengeset putaran yang diinginkan.

Perubahan gaya sentrifugal tersebut diteruskan berupa suatu output gerakan ke mekanisme sambungan (link).

##### 4. COMPENSATION SYSTEM (DASPOT SYSTEM)

Compensation system berfungsi untuk meredam osilasi yang



terjadi pada system untuk mencapai suatu keseimbangan.

Compensation system terdiri dari sebuah pegas dengan konstanta tertentu, sebuah valve, dan sebuah tahanan penghalang aliran minyak pada valve tersebut.

#### 5. MEKANISME SAMBUNGAN (LINK)

Mekanisme sambungan ini berfungsi menghubungkan Compensation system, Ballhead system, dan Pilot valve system untuk meneruskan gerak.

#### 4.1.4 DINAMIKA SYSTEM

Dari gambar 1 diatas dapat dilihat bahwa untuk mengeset suatu kecepatan yang diinginkan maka tuas throttle diatur pada posisi tertentu.

Flyweight yang digerakkan langsung oleh poros keluaran mesin melalui reduction gear mempunyai pusat massa yang berjarak  $R = R_i + r$  dari pusat putaran. Sehingga kecepatan sudut flyweight berbanding lurus dengan kecepatan putar mesin. Gaya sentrifugal dari flyweight dipindahkan oleh sebuah tuas yang bergerak ke dasar dudukan pegas terendah. Dalam hal ini pasak dan tuas berputar bersama flyweight sebagai satu kesatuan.

Jika ada input perubahan kecepatan maka respon akan dilakukan oleh ballhead system pada pilot valve. Jika kecepatan putar mesin naik diatas harga acuan yang diinginkan, otomatis gaya sentrifugal flyweight akan bertambah, sehingga gaya yang dikenakan



pada dasar pegas menjadi bertambah. Hal ini menyebabkan  $x$  bergerak ke atas, dan menggerakkan  $e$  ke atas pula. Minyak bertekanan tinggi akan mengalir ke bagian atas power piston untuk memperkecil bukaan katub pada synchronizer, sehingga debit bahan bakar yang dialirkan akan berkurang. Hal ini menyebabkan berkurangnya putaran mesin dan kecepatan kembali pada kesetimbangan yang diinginkan.

#### 4.1.5 DIAGRAM BLOK SYSTEM

Diagram blok keseluruhan sistem pada gambar 1 dapat ditentukan sebagai berikut :

Kedudukan bagian pegas adalah fungsi dari kecepatan yang diinginkan. Karenanya, perubahan bagian atas pegas  $z$  dari titik acuan adalah :

$$z = c_1 \cdot \Delta n_{in} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

$$\Delta N_{in} = N_{in} - N_i$$

(perubahan kecepatan yang diinginkan)

$$c_1 = \left. \frac{\partial z}{\partial N_{in}} \right|_i$$

(perubahan posisi  $z$  pada setiap perubahan kecepatan yang diinginkan  $N_{in}$ )

Gaya sentrifugal  $F_c$  yang bekerja pada flyweight adalah:

$$F_c = 2 \cdot M \cdot R \cdot \omega^2$$

dimana :

$M$  = massa setiap wlyweight.

$R$  = jarak dari pusat rotasi ke pusat massa flyweight.

$\omega$  = kecepatan sudut flywiegth.

$$= C_g \cdot N_o$$

$C_g$  = rasio roda gigi

Sehingga :

$$F_c = 2 \cdot C_g^2 \cdot M \cdot R \cdot N_o^2 = C_f \cdot R \cdot N_o^2 \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

$$C_f = 2 \cdot C_g^2 \cdot M$$

Gaya pegas,  $F_s$

$$F_s = \frac{h}{g} F_c = C_r \cdot F_c$$

dimana :

$g$  = jarak dari pasak keudukan pegas.

$h$  = jarak dari pasak ke pusat massa flyweight.

$$C_r = \frac{h}{g} \quad (\text{rasio tuas})$$

Substitusi  $F_c$  dari persamaan (2), maka :

$$F_s = C_f \cdot C_r \cdot R \cdot N_o^2 \dots \dots \dots (3)$$

Ada 2 variabel bebas yaitu  $R$  dan  $N_o$  ; linierisasi memberikan

$$F_s = C_2 \cdot r + C_3 \cdot n_o \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

$$C_2 = \frac{\partial F_s}{\partial R} \Big|_i = C_f \cdot C_r \cdot N_i^2$$

dan

$$C_3 = \frac{\partial F_s}{\partial N_o} \Big|_i = 2 \cdot C_f \cdot C_r \cdot R_i \cdot N_i$$

Kompresi pegas dari panjang acuan adalah  $z-x$ . Maka variasi pegas yang ditimbulkan oleh pegas adalah :

$$f_s = K_{s1} \cdot (z-x) \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

$K_{s1}$  = konstanta pegas pada fly weight

maka :

$$K_{s1} \cdot (z-x) = C_2 \cdot \dot{r} + C_3 \cdot \dot{n}_o$$

Geometri gambar 2 menunjukkan bahwa gerakan  $r$  dan  $x$  duhubungkan oleh tuas, sehingga  $r = -C_r \cdot x$ . Tanda negatif menunjukkan bahwa  $r$  bertambah maka  $x$  berkurang.

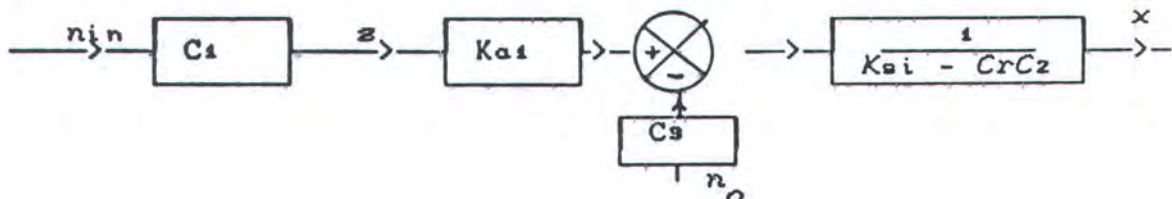
Eliminasi  $r$ , menjadi :

$$K_{s1} \cdot (z-x) = C_2 \cdot \dot{r} \cdot x + C_3 \cdot \dot{n}_o$$

atau

$$x = \frac{K_{s1} \cdot z - C_3 \cdot \dot{n}_o}{K_{s1} - C_r \cdot C_2} \dots\dots\dots (6)$$

Diagram blok dari persamaan (1) dan (6) dapat diberikan dalam gambar 2.

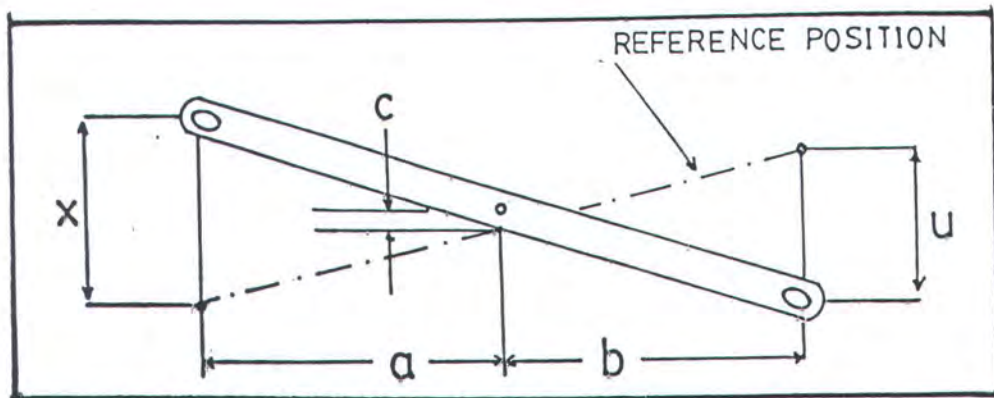


Gambar 2

Pada gambar 1, saat  $e = 0$ , maka katub pandu berada pada posisi line on line dan tidak ada aliran yang menuju ke atau dari piston besar. Untuk operasi keadaan tunak ( $e = 0$ ), hubungan-hubungan di antara  $x$  dan  $u$  adalah :

$$\frac{u}{a} = \frac{x}{b} \quad \text{atau} \quad u = \frac{a}{b} \cdot x$$



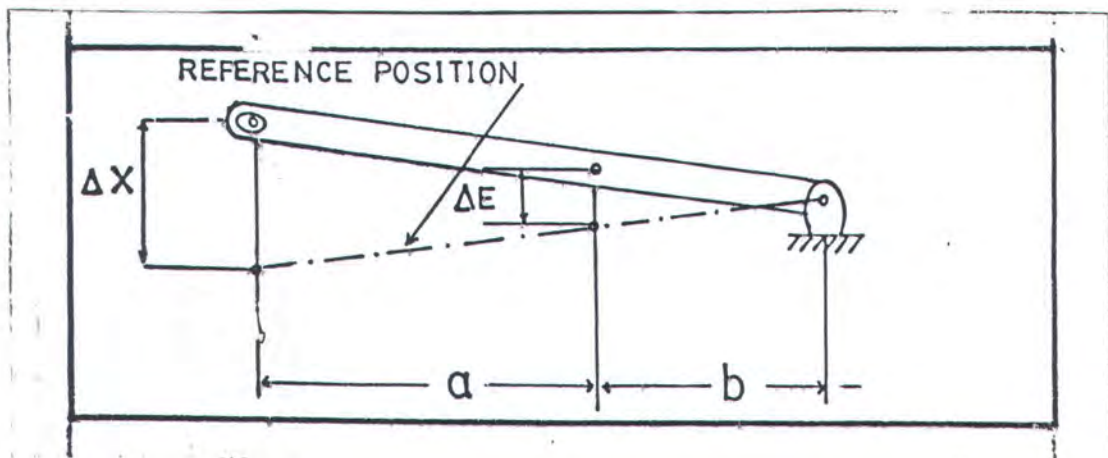


Gambar 3-1

Untuk perubahan yang kecil dari posisi acuan,

$$\theta = \frac{\partial E}{\partial X} \delta x + \frac{\partial E}{\partial U} \delta u \dots \dots \dots (7)$$

$\frac{\partial E}{\partial X} \delta x$  ditentukan dengan jalan mencari perbandingan perubahan  $E$  untuk setiap perubahan  $x$  dengan semua parameter lainnya konstan.

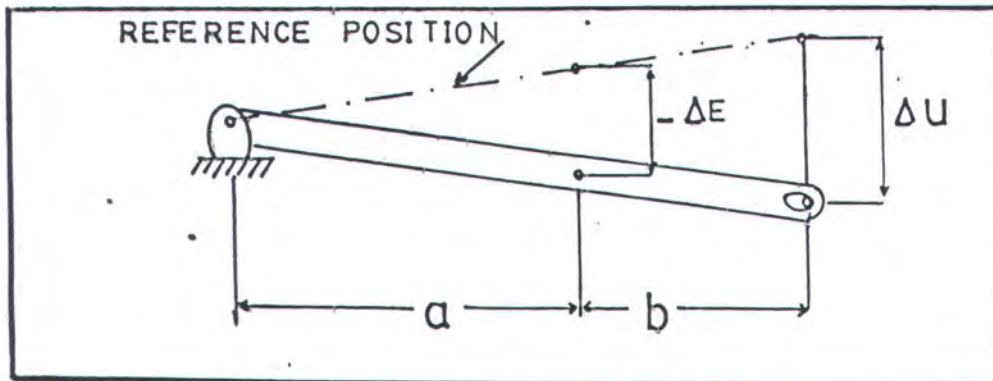


Gambar 3-2

Untuk  $u$  tetap sebagai posisi acuan. Dari segitiga-segitiga

sebangun pada gambar 3-2

$$\left. \frac{\partial E}{\partial X} \right|_i = \lim_{\substack{\Delta E \rightarrow 0 \\ \Delta x \rightarrow 0}} \frac{\frac{\Delta E}{\Delta X}}{\frac{\Delta X}{\Delta x}} = \frac{a}{a+b}$$



x tetap

Gambar 3-3

Dengan cara yang sama, dari gambar 3-3, dengan x tetap sebagai posisi acuan ,

$$\left. \frac{\partial E}{\partial X} \right|_i = \lim_{\substack{\Delta E \rightarrow 0 \\ \Delta u \rightarrow 0}} \frac{\frac{\Delta E}{\Delta u}}{\frac{\Delta u}{\Delta x}} = - \frac{a}{a+b}$$

Substitusi ke persamaan (7) diperoleh :

$$e = \left[ \frac{a}{a+b} \right] \cdot x - \left[ \frac{b}{a+b} \right] \cdot u \dots \dots \dots (8)$$

Pada gambar 1 (bagian motor servo hidrolis), dapat dilihat bahwa laju aliran minyak ke silinder daya  $Q_1$  merupakan fungsi dari  $e$  dan  $\Delta P_b$  atau :

$$Q_1 = f(e, \Delta P_b)$$

Dengan linierisasi persamaan non linier ini diperoleh :

$$Q_1 = C_4 \cdot e - C_5 \cdot \Delta P_b \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

$$C_4 = \left. \frac{\partial Q_1}{\partial e} \right|_i \quad \text{dan} \quad C_5 = \left. \frac{\partial Q_1}{\partial \Delta P_b} \right|_i$$

Dengan memperhatikan gambar 2, dapat dilihat bahwa laju aliran minyak  $Q_1$  kali waktu  $dt$  sama dengan perpindahan torak daya  $dy$  kali luas torak  $A_1$  kali rapat massa  $\rho$ .

Jadi diperoleh :

$$A_1 \cdot \rho \cdot dy = Q_1 \cdot dt$$

sekarang persamaan (9) dapat ditulis sebagai :

$$\Delta P_b = \frac{1}{C_5} [C_4 \cdot e - A_1 \cdot \rho \cdot Dy] \quad \text{dengan } D = \frac{d}{dt}$$

Gaya yang dibangkitkan oleh torak daya

$$= A_1 \cdot \Delta P_b$$

$$= \frac{A_1}{C_5} [C_4 \cdot e - A_1 \cdot \rho \cdot Dy]$$

Anggap bahwa torak daya memindahkan beban yang terdiri dari massa dan gesekan viskos. Selanjutnya gaya yang dibangkitkan oleh torak daya dikenakan pada massa dan gesekan beban, sehingga diperoleh :

$$(\alpha \cdot D^2 + e \cdot D) \cdot y = \frac{A_1}{C_5} [C_4 \cdot e - A_1 \cdot \rho \cdot Dy]$$

atau :

$$\left[ \alpha \cdot D + \left( f + \frac{A_1 \cdot \rho}{C_5} \right) \cdot \right] Dy = \frac{A_1 \cdot C_4}{C_5} e \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

$m$  = massa beban

$f$  = koefisien gesekan viskos

Dengan menganggap bahwa perpindahan  $e$  dari katup pandu (pilot



valve) adalah masukan dan perpindahan  $y$  dari torak daya adalah keluaran, dari persamaan (10) diperoleh persamaan untuk motor servo hidrolik (power piston dan pilot valve).

$$y = \frac{e}{D \left[ \left( \frac{m C_5}{A_1 C_4} \right) D + \frac{f C_5}{A_1 C_4} + \frac{A_1 \rho}{C_4} \right]}$$

$$= \frac{C_6}{D(\tau_1 \cdot D + 1)} e \dots\dots\dots(11)$$

dimana :

$$C_6 = \frac{1}{\frac{f C_5}{A_1 C_4} + \frac{A_1 \rho}{C_4}} \quad \text{dan} \quad \tau_1 = \frac{m C_5}{f C_5 + A_1^2 \rho}$$

Jika perbandingan  $m C_5 / (f C_5 + A_1^2 \rho)$  adalah sangat kecil atau  $\tau_1$  dapat diabaikan, maka persamaan (11) dapat disederhanakan menjadi :

$$y = \frac{C_6}{D} e \dots\dots\dots(12)$$

Selanjutnya penurunan persamaan matematik dari bagian daspot (elemen diferensiator) tersebut berikut ini :

Tekanan pada sisi kiri dan kanan torak masing-masing  $P_{k1}$  dan  $P_{k2}$  misal gaya inersia yang terlibat dapat diabaikan. Selanjutnya gaya yang berkerja pada torak harus menyetimbangkan gaya pegas.

$$\text{Jadi :} \quad A_2 (P_{k2} - P_{k1}) = K_{s2} du$$

dimana :

$A_2$  = luas torak pada daspot

$u$  = volume minyak yang dipindahkan oleh laju aliran  $Q_2$

$K_{s2}$  = konstanta pegas pada daspot

Kesetimbangan Laju aliran  $Q_2$  diberikan oleh persamaan ;

$$d(Q_2) = \frac{d(P_{k2} - P_{k1})}{R}$$

dimana :

$Q_2$  = laju aliran melalui penghalang

$R$  = gaya tahanan aliran pada penghalang yang bekerja pada sisi - sisi torak.

Karena aliran yang melalui penghalang selama  $dt$  detik harus sama dengan perubahan berat minyak ke sebelah kanan torak selama  $dt$  detik yang sama, diperoleh persamaan kesetimbangan ;

$$Q_2 \cdot dt = A_2 \cdot \rho \cdot (dy - du)$$

dimana :

$\rho$  = massa jenis minyak

Dianggap bahwa fluida adalah incompressible atau  $\rho = \text{konstan}$ .

Persamaan terakhir dapat ditulis kembali sebagai,

$$\frac{dy}{dt} - \frac{du}{dt} = \frac{Q_2}{A_2 \cdot \rho} = \frac{P_{k2} - P_{k1}}{R \cdot A_2 \cdot \rho} = \frac{K_{s2} \cdot u}{R \cdot A_2 \cdot \rho}$$

Jika  $\tau_2 = \frac{R \cdot A_2 \cdot \rho}{K_{s2}}$  maka

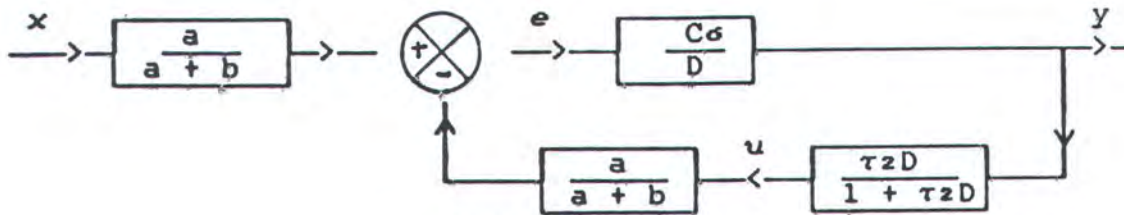
$$Dy = Du + \frac{u}{\tau_2} = (D + \frac{1}{\tau_2}) \cdot u$$

$$u = \frac{D}{D + 1/\tau_2} y$$

$$u = \frac{\tau_2 \cdot D}{\tau_2 \cdot D + 1} y \quad \dots\dots\dots(13)$$

Diagram blok dari persamaan (8), (11), dan (13)

ditunjukkan pada gambar 5



gambar 4

Penyederhanaan persamaan pada gambar 4 diperoleh :

$$y = \frac{\frac{a}{a+b} \cdot \frac{Cs}{D}}{1 + \frac{Cs \cdot b}{a+b} \cdot \frac{\tau_2 \cdot D}{1 + \tau_2 D}} x$$

Pada operasi normal  $|Cs \cdot b / [(a+b)(\tau_2 D + 1)]| \gg 1$ , diperoleh :

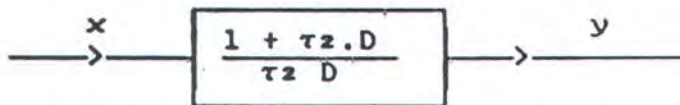
$$y = C7 \cdot \left[ 1 + \frac{1}{\tau_2 \cdot D} \right] \cdot x \dots\dots\dots(14)$$

$$C7 = \frac{a}{b} \quad \tau_2 = \frac{R \cdot A_2 \cdot \rho}{K_{S2}}$$

untuk  $a = b$ , maka  $C7 = 1$ , dan

$$y = \left[ \frac{1 + \tau_2 \cdot D}{\tau_2 \cdot D} \right] \dots\dots\dots(15)$$

Dan diagram bloknya adalah :



Gambar 5

Aliran bahan bakar yang melewati katub kendali aliran merupakan fungsi dari posisi  $y$  [ $Q = Q(y)$ ]. Linierisasi dari memberikan :

$$Q = \frac{\partial Q}{\partial y} \bigg|_i y = C_a \cdot y \dots\dots\dots(16)$$



dimana :

$C_a$  : diagram kurva  $Q$  vs  $y$  yang dievaluasi pada posisi acuan.

Kecepatan mesin  $N_o$  merupakan fungsi dari aliran bahan bakar  $Q$  yang dipasok ke dalam silinder mesin dan torsi mesin  $T$  :

$$N_o = N_o(Q, T)$$

Bentuk linierisasi dari pernyataan di atas adalah :

$$\Delta N = \left. \frac{\partial N_o}{\partial Q} \right|_T q + \left. \frac{\partial N_o}{\partial T} \right|_Q t = C_o \cdot q - C_{to} \cdot t \dots \dots \dots (17)$$

dimana :

$$C_o = \left. \frac{\partial N_o}{\partial Q} \right|_T$$

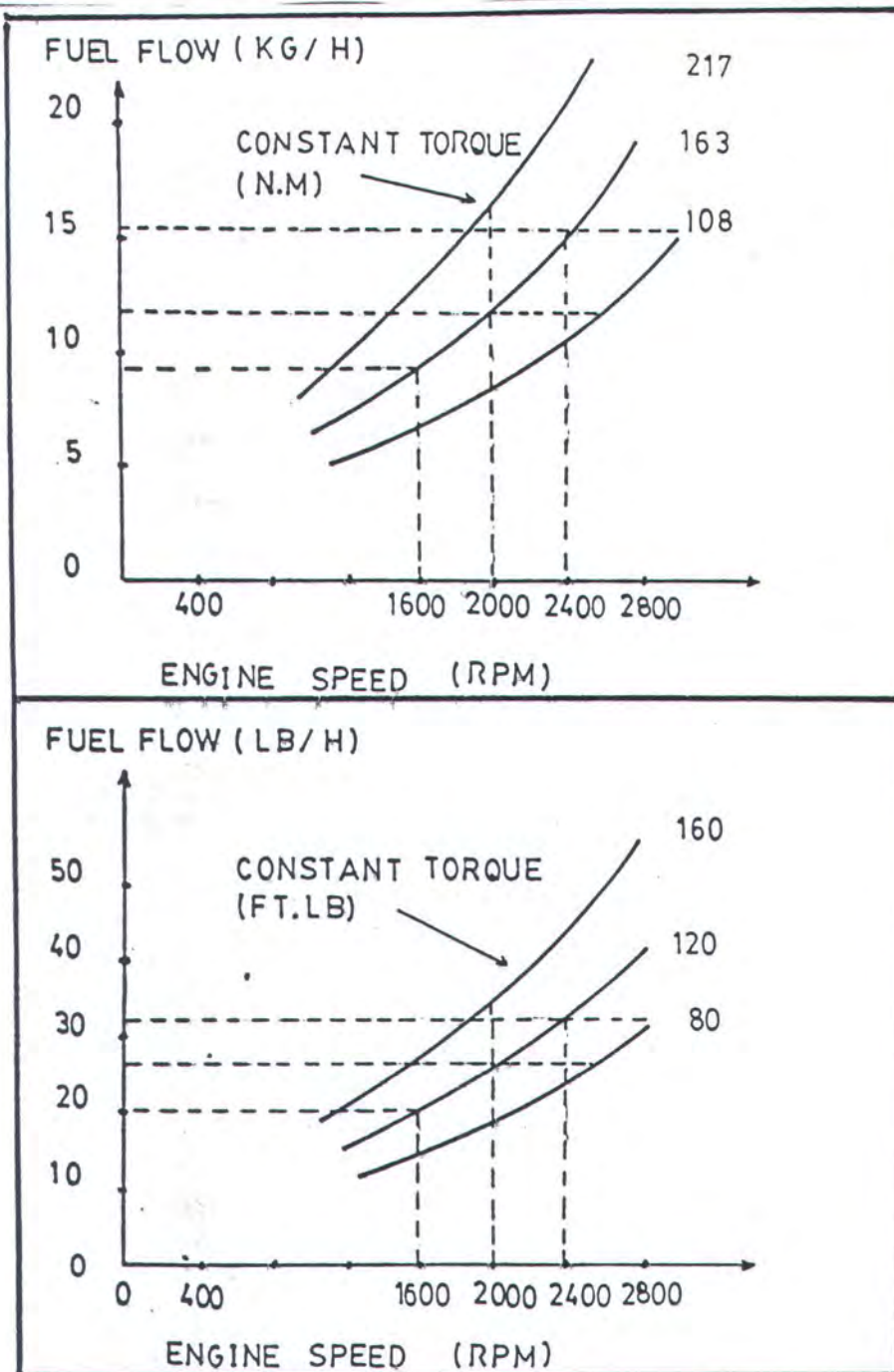
(Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan  $T$  dijaga konstan pada harga acuan).

$$C_{to} = \left. \frac{\partial N_o}{\partial T} \right|_Q$$

(Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan  $Q$  di jaga konstan pada harga acuan).

Untuk  $T = \text{konstan}$ , kecepatan  $N_o$  bertambah karena  $Q$  bertambah, sehingga  $\left. \frac{\partial N_o}{\partial Q} \right|_T$  adalah positif. Sedang untuk  $Q$  konstan, kecepatan  $N_o$  berkurang jika torsi bertambah, sehingga  $\left. \frac{\partial N_o}{\partial T} \right|_Q$  berharga negatif.

Karena karakteristik pengoperasian mesin diesel ditunjukkan oleh gambar 6:



gambar 6

Torsi  $t$  yang dihasilkan oleh mesin dikurangi torsi beban  $t_L$  adalah torsi bersih yang dipergunakan untuk percepatan, yaitu :

$$t - t_L = J \cdot \alpha = J \cdot D \cdot \Delta n_o \dots \dots \dots (18)$$

dimana:

$$\alpha = D \cdot \Delta N_o$$

= Percepatan sudut mesin.

J = Inersia rotasi mesin.

Substitusikan  $t$  dari persamaan (18) ke persamaan (17)

memberikan :

$$\Delta N_o = C_o \cdot q - C_{10} \cdot t_L - C_{10} \cdot J \cdot D \cdot \Delta N_o$$

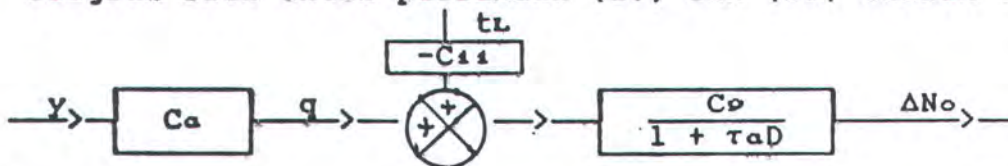
$$\Delta N_o = \frac{C_o \cdot q - C_{10} \cdot t_L}{1 + C_{10} \cdot J \cdot D} = \frac{C_o}{1 + \tau_a \cdot D} (q - C_{11} \cdot t_L) \dots \dots \dots (19)$$

dimana :

$$\tau_a = C_{10} \cdot J$$

$$C_{11} = \frac{C_{10}}{C_o} = \frac{\frac{\partial N_o}{\partial T} \big|_i}{\frac{\partial N_o}{\partial Q} \big|_i} = \frac{\partial Q}{\partial T} \big|_i$$

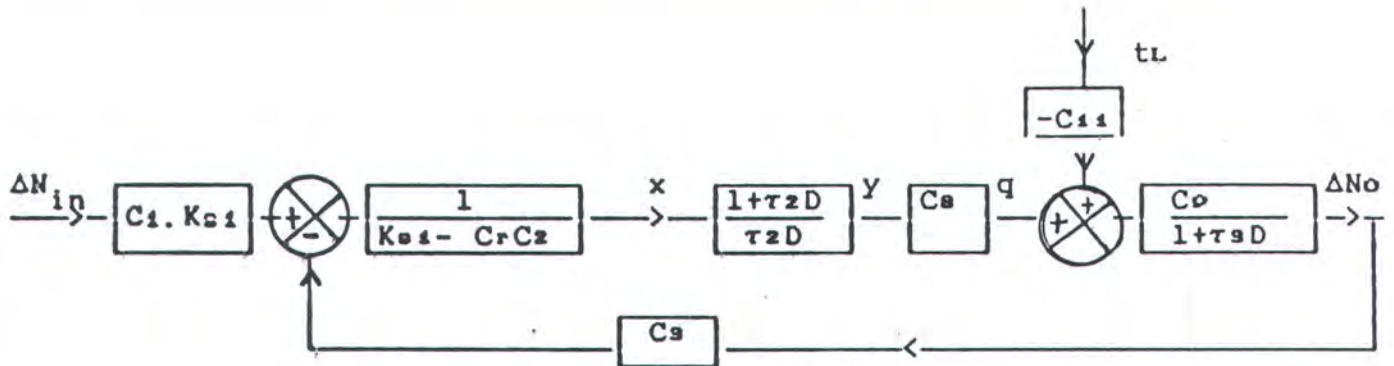
Diagram blok untuk persamaan (16) dan (19) adalah :



Gambar 7

Sedang diagram blok keseluruhan sistim adalah :





gambar 8

Sehingga bentuk matematik persamaan diferensial dalam hubungan antara keluaran terhadap masukan  $\Delta N_{in}$  dan gangguan  $t_L$  untuk sistim pengatur kecepatan yang dinyatakan oleh diagram blok pada Gambar 9 adalah :

$$\left[ (C_1 K_{s1} \Delta N_{in} - C_s \Delta N_o \frac{1+\tau_2 D}{\tau_2 D} C_{12}) - C_{11} t_L \right] \left( \frac{C_0}{1+\tau_3 D} \right) = \Delta N_o \quad \dots\dots\dots(20)$$

dimana :

$$C_{12} = \frac{C_s}{K_{s1} - C_r C_2}$$

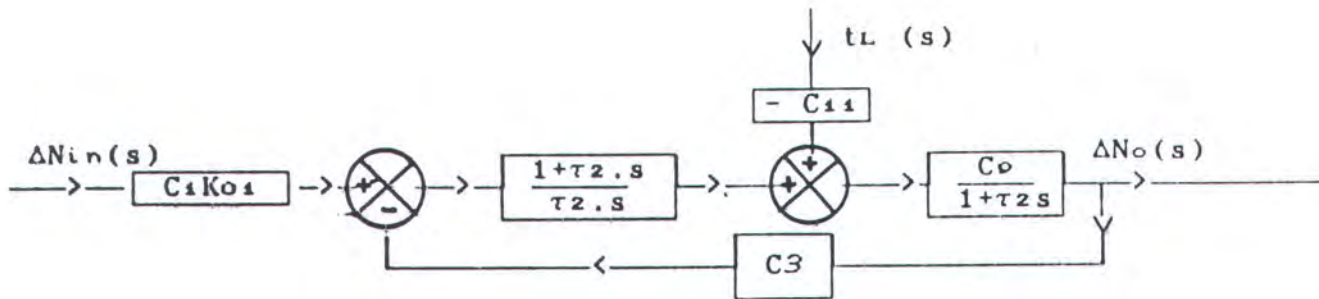
penyelesaian untuk  $\Delta N_o$  adalah:

$$\Delta N_o = \frac{C_1 C_0 C_{12} K_{s1} (1 + \tau_2 D) \Delta N_{in} - C_0 C_{11} \tau_2 D t_L}{\tau_2 D (1 + \tau_2 D) + C_s C_0 C_{12} K_{s1} (1 + \tau_2 D)} \quad \dots\dots\dots(21)$$

Dengan melakukan transformasi Laplace pada persamaan (21), dengan semua syarat awal adalah nol, maka diperoleh :

$$\Delta N_o = \frac{C_1 C_0 C_{12} K_{s1} (1 + \tau_2 D) \Delta N_{in}(s) - C_0 C_{11} \tau_2 D t_L(s)}{\tau_2 s (1 + \tau_2 s) + C_s C_0 C_{12} (1 + \tau_2 s)} \quad \dots\dots\dots(22)$$

Dan diagram blok untuk persamaan (22) :



gambar 9

#### 4.1.6 RESPON KEADAAN TUNAK

Gambar 9 menunjukkan suatu sistim lup tertutup yang mengalami suatu gangguan. Jika pada suatu sistim linier terdapat dua masukan (masukan acuan dan gangguan torsi), maka masing-masing masukan dapat diperhitungkan secara bebas terhadap yang lain.

##### 1. Respon terhadap gangguan torsi

Dalam menguji pengaruh gangguan torsi pada elemen beban  $t_L(s)$ , dapat dianggap bahwa sistim mula-mula diam dengan kesalahan nol; atau dengan menganggap bahwa masukan acuan adalah nol, atau  $\Delta N_{in}(s) = 0$ .

Fungsi alih lup tertutup antara  $\Delta N_o(s)$  dan  $t_L(s)$  adalah:

$$\frac{\Delta N_o(s)}{t_L(s)} = \frac{-\frac{C_0 \cdot C_{11}}{1 + \tau_2 s}}{1 + \frac{C_3 \cdot C_0 \cdot C_{12} \cdot (1 + \tau_2 s)}{\tau_2 s (1 + \tau_3 s)}}$$

$$\Delta N_o(s) = \frac{C_0 \cdot C_{11} \cdot \tau_2 \cdot s}{\tau_2 \cdot \tau_3 \cdot s^2 + (1 + C_3 \cdot C_0 \cdot C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_0 C_{12}} t_L(s) \quad \dots \dots \dots (23)$$

Jika sistim kontrol ini stabil yang berarti bahwa akar-akar persamaan karakteristik :

$$\tau_2 \tau_3 s^2 + (1 + C_3 C_D C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{12} = 0$$

mempunyai bagian nyata negatif, maka kesalahan keadaan tunak dari respon terhadap torsi gangguan tangga dengan besar  $t_L$  diperoleh dengan menggunakan teorema harga akhir sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta N_o &= \lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot \Delta N_o(s)] \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{C_D C_{11} \tau_2 s}{\tau_2 \tau_3 s^2 + (1 + C_3 C_D C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{12}} t_L(s) \\ \Delta N_o &= 0 \dots\dots\dots(24) \end{aligned}$$

## 2. Respon terhadap masukan acuan

Sebaliknya, dalam *meninjau* respon terhadap masukan acuan  $\Delta N_{in}(s)$ , dapat dianggap bahwa gangguan adalah nol atau  $t_L(s) = 0$ .

Fungsi alih antara  $\Delta N_o(s)$  dan  $\Delta N_{in}(s)$  diberikan oleh

$$\frac{\Delta N_o(s)}{\Delta N_{in}(s)} = \frac{- \frac{C_1 C_D C_{11} K_{a1} (1 + \tau_2 s)}{1 + \tau_a s}}{1 + \frac{C_3 C_D C_{12} (1 + \tau_2 s)}{\tau_2 s (1 + \tau_3 s)}}$$

atau

$$\begin{aligned} \Delta N_o &= \frac{C_D C_{11} \tau_2 s}{\tau_2 \tau_3 s^2 + (1 + C_3 C_D C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{12}} t_L(s) \\ &\dots\dots\dots(25) \end{aligned}$$

Kesalahan keadaan tunak dari respon terhadap masukan acuan



tangga dengan besar  $\Delta N_{in}$  diperoleh dengan menggunakan teorema harga akhir sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta N_{o2} &= \lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot \Delta N_o(s)] \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{C_1 \cdot C_D \cdot C_{i1} \cdot K_{o1} (1 + \tau_2 \cdot s) s}{\tau_2 \cdot \tau_3 \cdot s^2 + (1 + C_3 \cdot C_D \cdot C_{i2}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{i2}} \frac{\Delta N_{in}}{s} \\ \Delta N_{o2} &= \frac{C_1 \cdot K_{o1}}{C_3} \Delta N_{in} \dots \dots \dots (26)\end{aligned}$$

Suatu cara yang mudah untuk mengatur (menyetel) faktor skala  $C_1$  untuk penunjuk masukan kecepatan dengan membuat harga  $C_1 K_{o1} / C_3 = 1$ , sehingga

$$\Delta N_o = \Delta N_{in} \dots \dots \dots (27)$$

#### 4.1.7 RESPON DINAMIS

Yang dimaksud respon dinamis adalah respon dari sistim sebagai fungsi dari waktu, ketika ada masukan, baik berupa gangguan beban maupun masukan acuan.

##### 1. Respon dinamis sistim ketika ada perubahan beban.

Dalam melakukan perilaku dinamik sistem beban jika dikenakan gangguan padanya, dapat dilakukan dengan jalan merubah persamaan (23) menjadi persamaan differensial (fungsi waktu), dengan harga masukan acuan diset pada harga tertentu atau  $\Delta N_i = 0$ . Sehingga :

$$\frac{\Delta N_o(s)}{t_L(s)} = \frac{C_o.C_{11}.\tau_2.s}{\tau_2.\tau_3.s^2 + (1 + C_s.C_o.C_{12})\tau_2.s + C_s C_o C_{12}}$$

$$\Delta N_o \tau_2.\tau_3.s^2 + (1+C_s.C_o.C_{12})\tau_2.s + C_s C_o C_{12} = -C_o.C_{11}.\tau_2.s$$

Persamaan ini ekuivalen dengan persamaan differensial sebagai berikut ;

$$\tau_2\tau_3 \frac{d^2 \Delta N_o(t)}{dt^2} + (1+C_s.C_o.C_{12})\tau_2 \frac{d\Delta N_o(t)}{dt} + C_s C_o C_{12} \Delta N_o(t) = -C_o.C_{11}.\tau_2 \frac{dt_L(t)}{dt} \dots (28)$$

Dalam menentukan persamaan dinamik orde satu misalkan :

$$X_1(t) = \Delta N_o(t)$$

$$X_2(t) = \frac{d\Delta N_o(t)}{dt}$$

$$y(t) = \frac{C_s C_{11}}{\tau_2} \frac{dt_L(t)}{dt}$$

Untuk itu, persamaan (28) direduksi menjadi dua persamaan differensial orde satu berikut ini :

$$\frac{dX_1(t)}{dt} = X_2(t) \dots \dots \dots (29)$$

$$\frac{dX_2(t)}{dt} = - \frac{C_s C_o C_{12}}{\tau_2\tau_3} X_2(t) - \frac{(1+C_s C_o C_{12})}{\tau_3} X_2(t) + y(t) \dots \dots \dots (30)$$

## 2. Respon dinamis sistem ketika ada masukan acuan.

Gangguan elemen beban diset pada harga tertentu atau  $t_L = 0$ . Dan masukan acuan dikenakan pada sistim berupa fungsi tanjak (ramp).

Persamaan (25) dapat ditulis kembali menjadi :

$$\frac{\Delta N_o(s)}{\Delta N_i(s)} = \frac{C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1} \cdot s(1 + \tau_2 s)}{\tau_2 \cdot \tau_3 \cdot s^2 + (1 + C_3 \cdot C_D \cdot C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{12}}$$

atau

$$\Delta N_o(s) [\tau_2 \cdot \tau_3 \cdot s^2 + (1 + C_3 \cdot C_D \cdot C_{12}) \tau_2 s + C_3 C_D C_{12}] = \Delta N_i(s) [C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1} \cdot s(1 + \tau_2 s)]$$

Persamaan di atas sama dengan persamaan differensial berikut :

$$\tau_2 \tau_3 \frac{d\Delta N_o(t)}{dt} + (1 + C_3 \cdot C_D \cdot C_{12}) \tau_2 \frac{d\Delta N_o(t)}{dt} + C_3 C_D C_{12} = C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1} \cdot \tau_2 \frac{d\Delta N_i(t)}{dt} + C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1} \cdot \Delta N_i(t) \quad \dots\dots\dots(31)$$

Dalam menentukan persamaan dinamik orde satu, misalkan :

$$X_1(t) = \Delta N_o(t)$$

$$X_2(t) = \frac{d\Delta N_o(t)}{dt}$$

$$z(t) = \frac{C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1}}{\tau_3} \cdot \frac{d\Delta N_i(t)}{dt} + \frac{C_1 C_D \cdot C_{11} \cdot K_{o1}}{\tau_2 \tau_3} \Delta N_i(t)$$

Untuk itu, persamaan (31) direduksi menjadi dua persamaan orde satu berikut ini :



---

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t) \dots\dots\dots(32)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = - \frac{C_3 C_0 C_{12}}{\tau_2 \tau_3} x_2(t) - \frac{(1 + C_3 C_0 C_{12})}{\tau_3} x_2(t) + z(t) \dots\dots\dots(33)$$

## VI.2 PROGRAM SIMULASI KOMPUTER SISTEM GOVERNOR

Pada bagian ini akan memuat antara lain :

1. Diagram alir program.
2. Print out program simulasi komputer sistem governor.
3. Hasil pengujian program.
  - Hasil numerik Pengujian program.
  - Hasil simulasi grafik pengujian program.

### IV.2.1 DIAGRAM ALIR PROGRAM

Diagram alir program untuk pengujian kehandalan sistem governor ini meliputi :

1. Diagram alir program 1 :

"SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS WAKTU DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER MESIN".
2. Diagram alir program 2 :

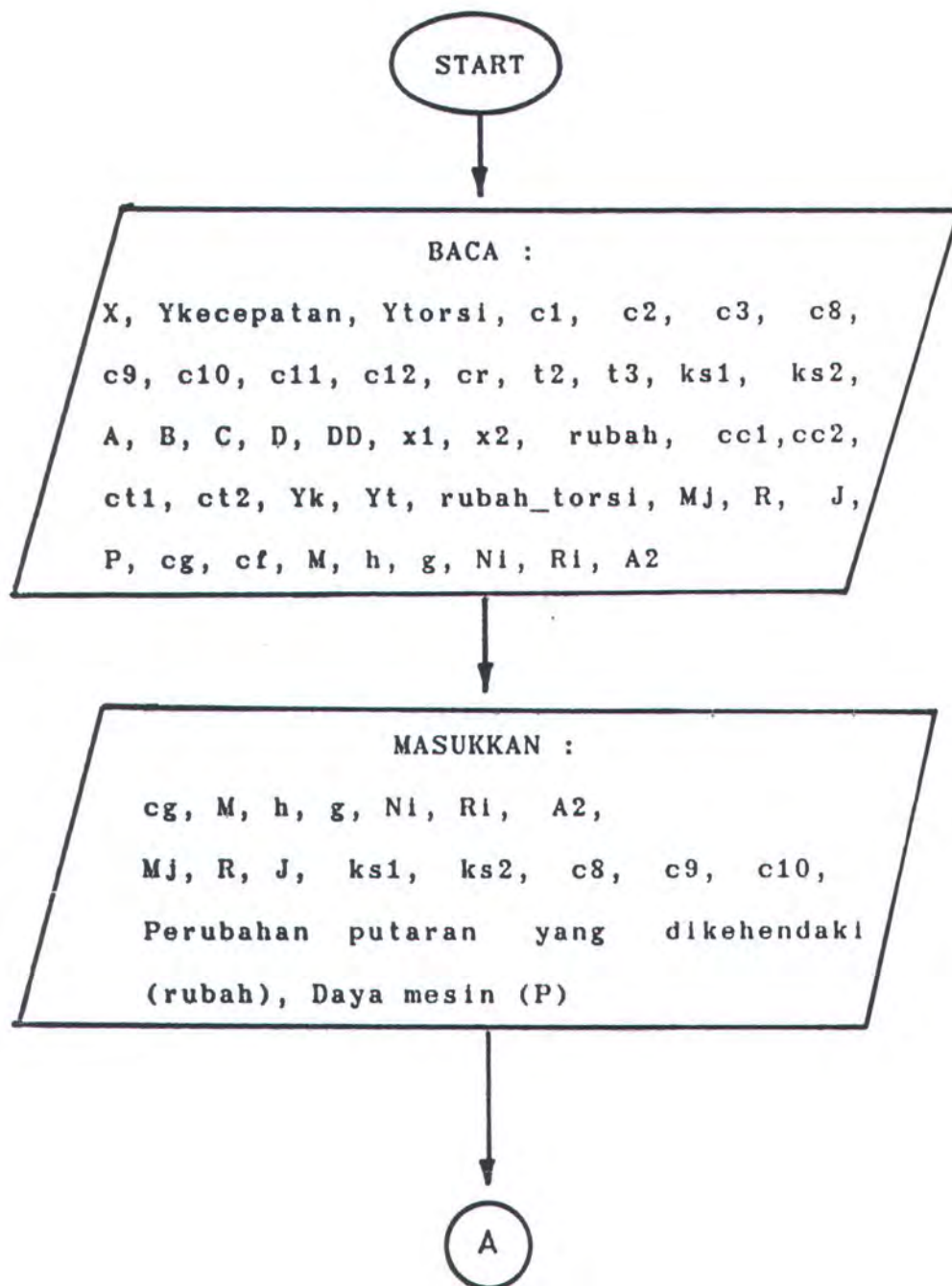
"SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS WAKTU DENGAN INPUT TORSI DAN POWER MESIN".
3. Diagram alir program 3 :

"SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS WAKTU DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER MESIN".
4. Diagram alir program 4 :

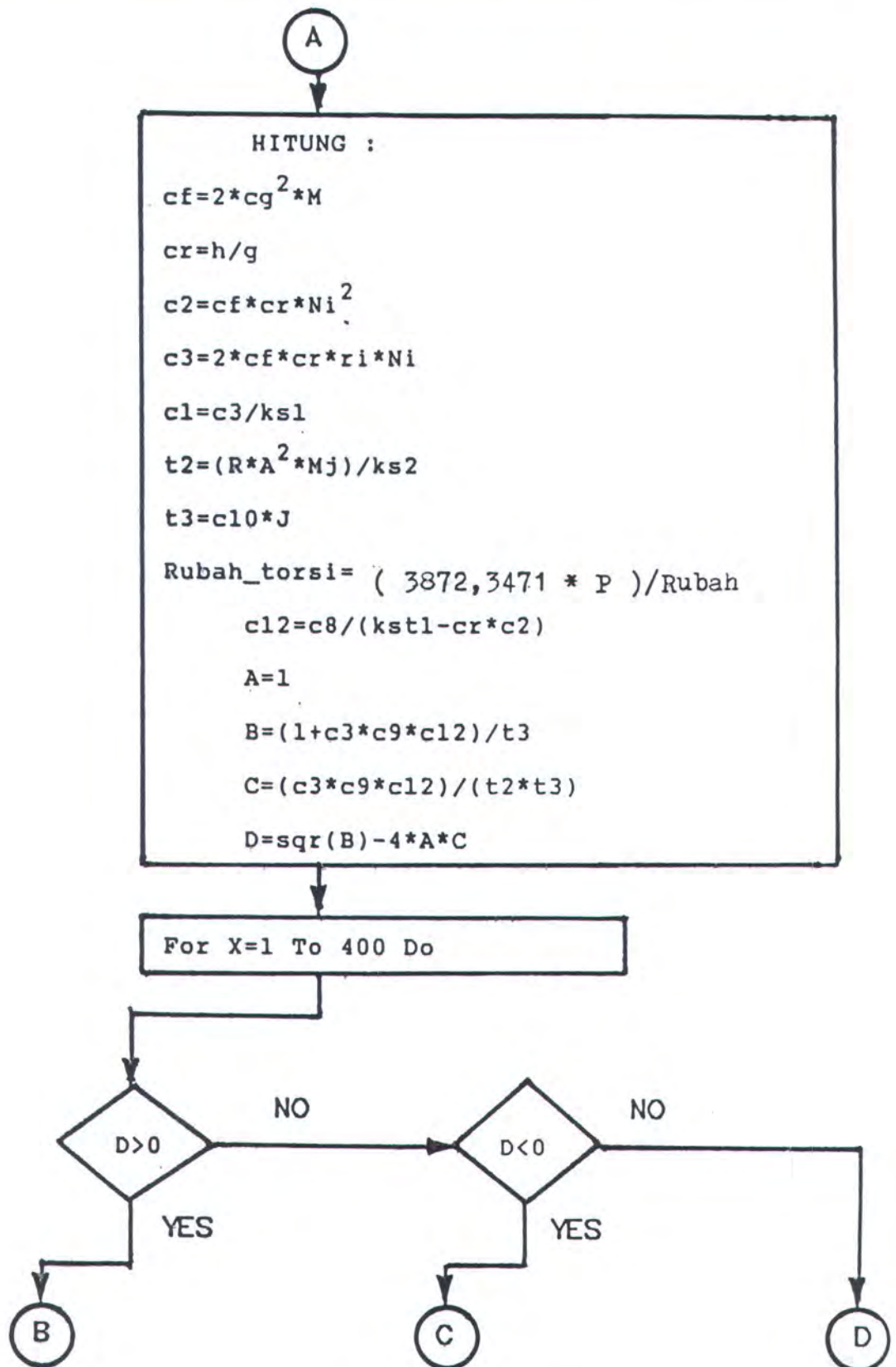
"SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS WAKTU DENGAN INPUT TORSI DAN POWER MESIN".

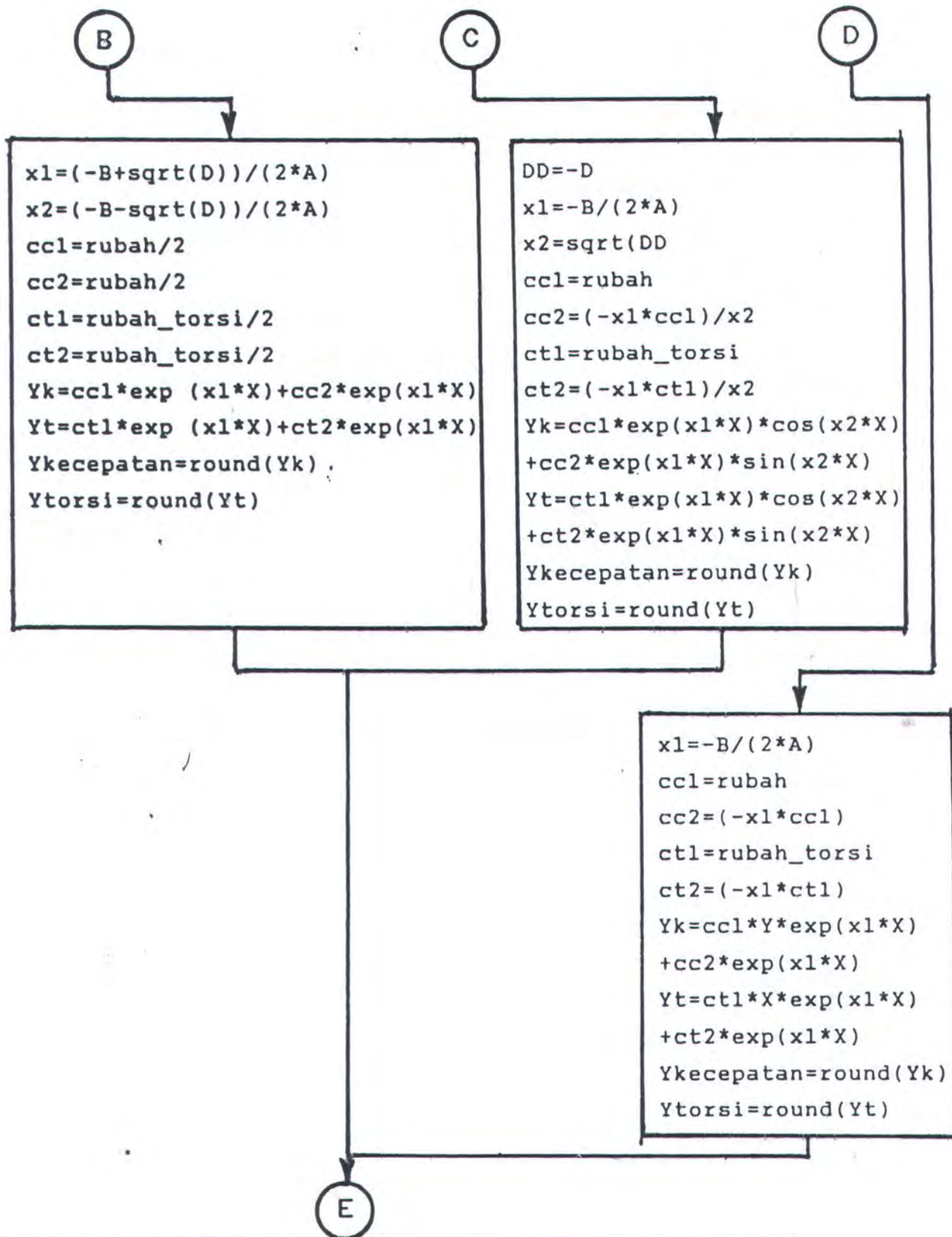
## DIAGRAM ALIR PROGRAM 1 :

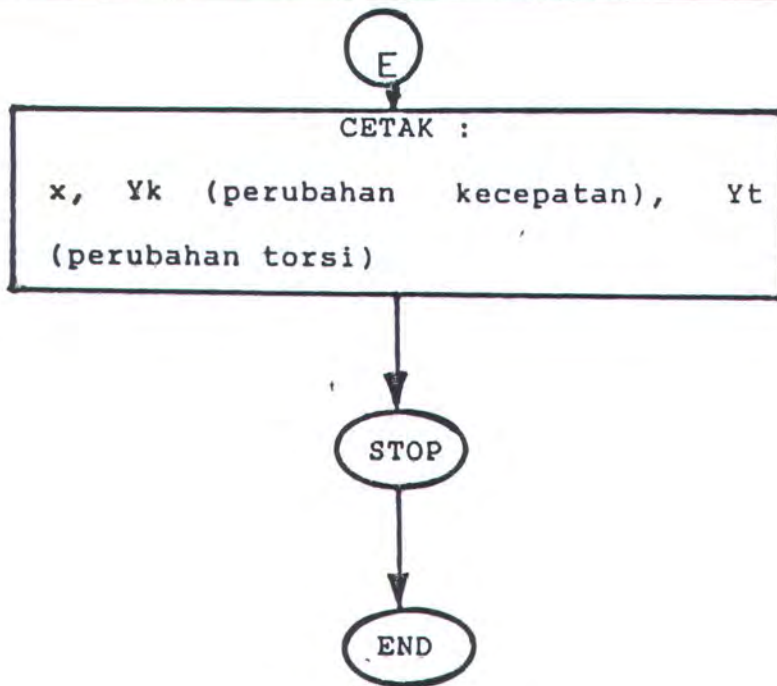
" SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI  
VS WAKTU DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER MESIN "







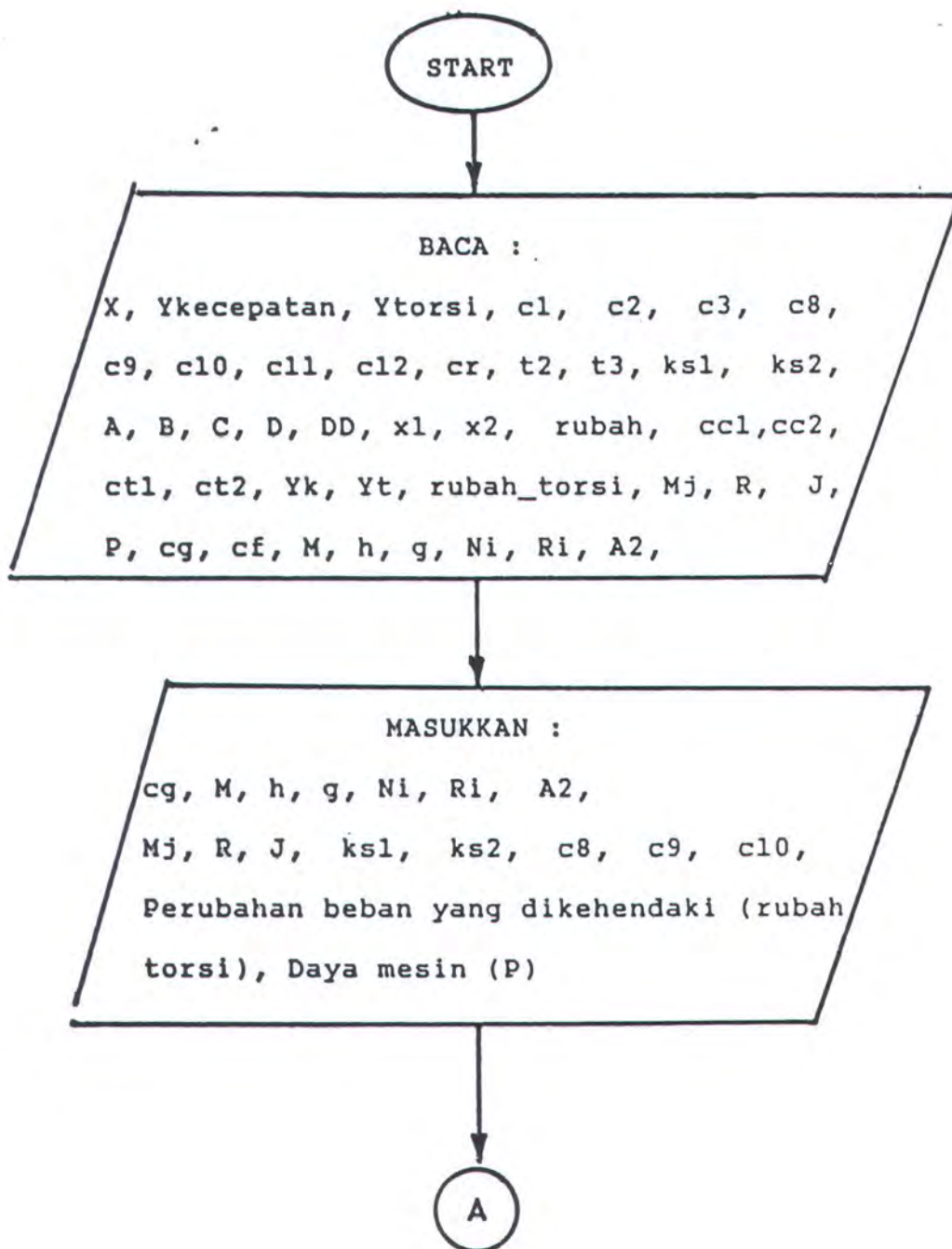


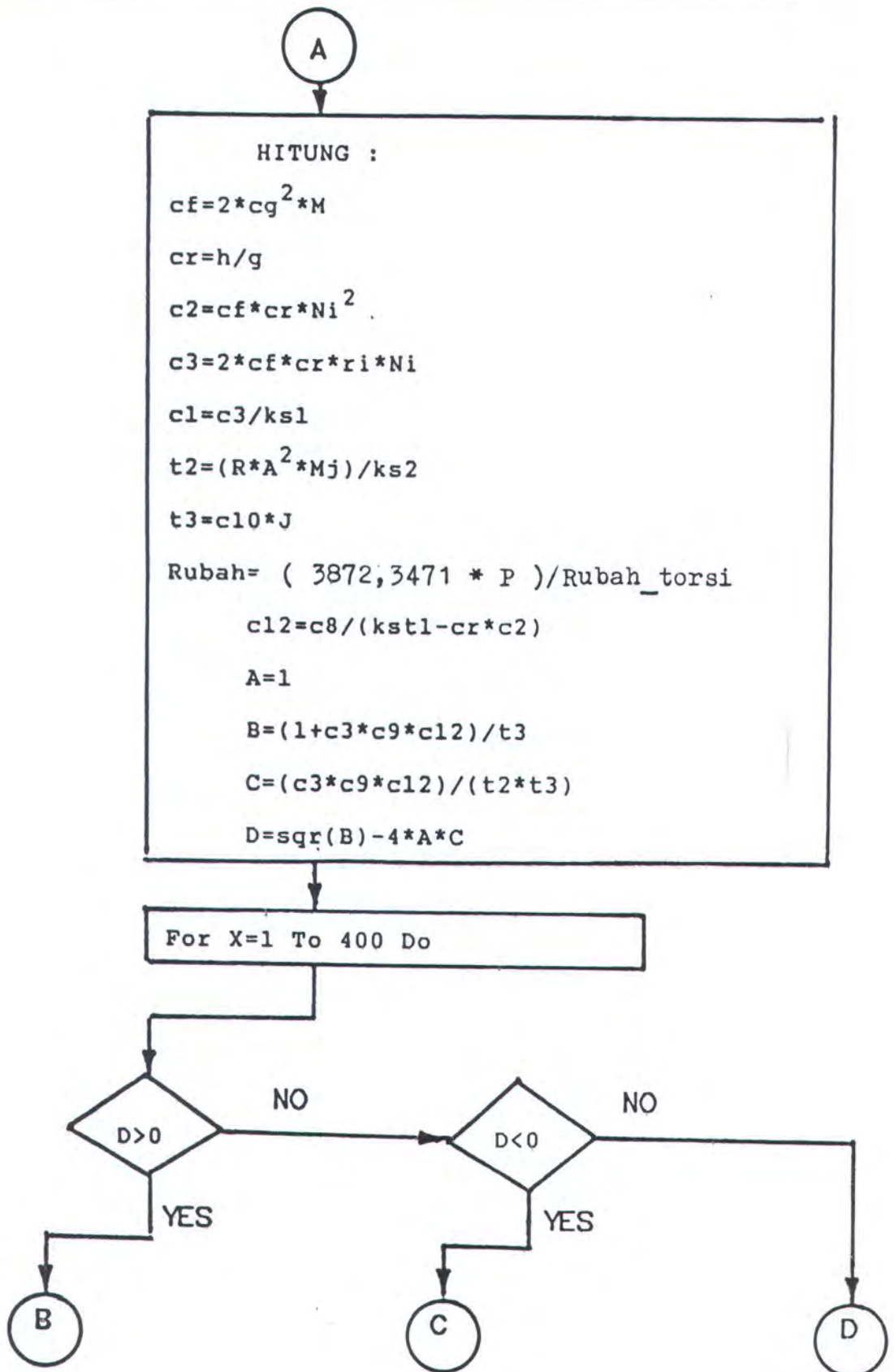


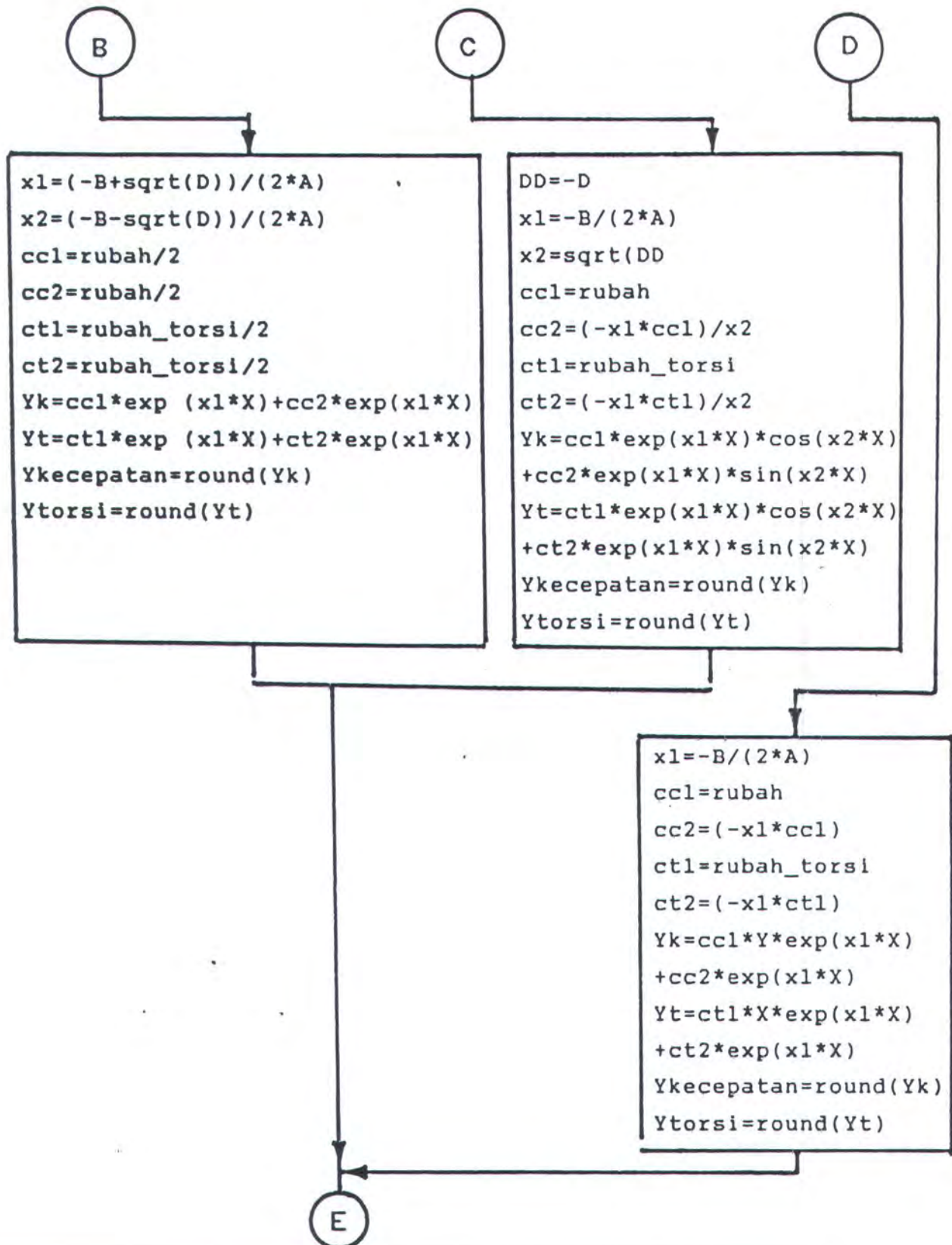


## DIAGRAM ALIR PROGRAM 2 :

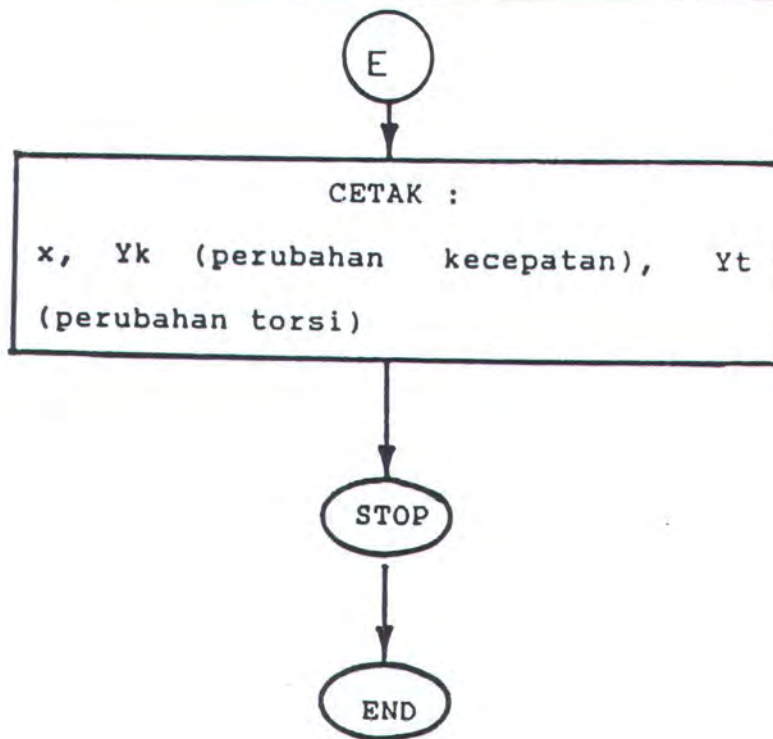
" SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI  
VS WAKTU DENGAN INPUT TORSI DAN POWER MESIN "





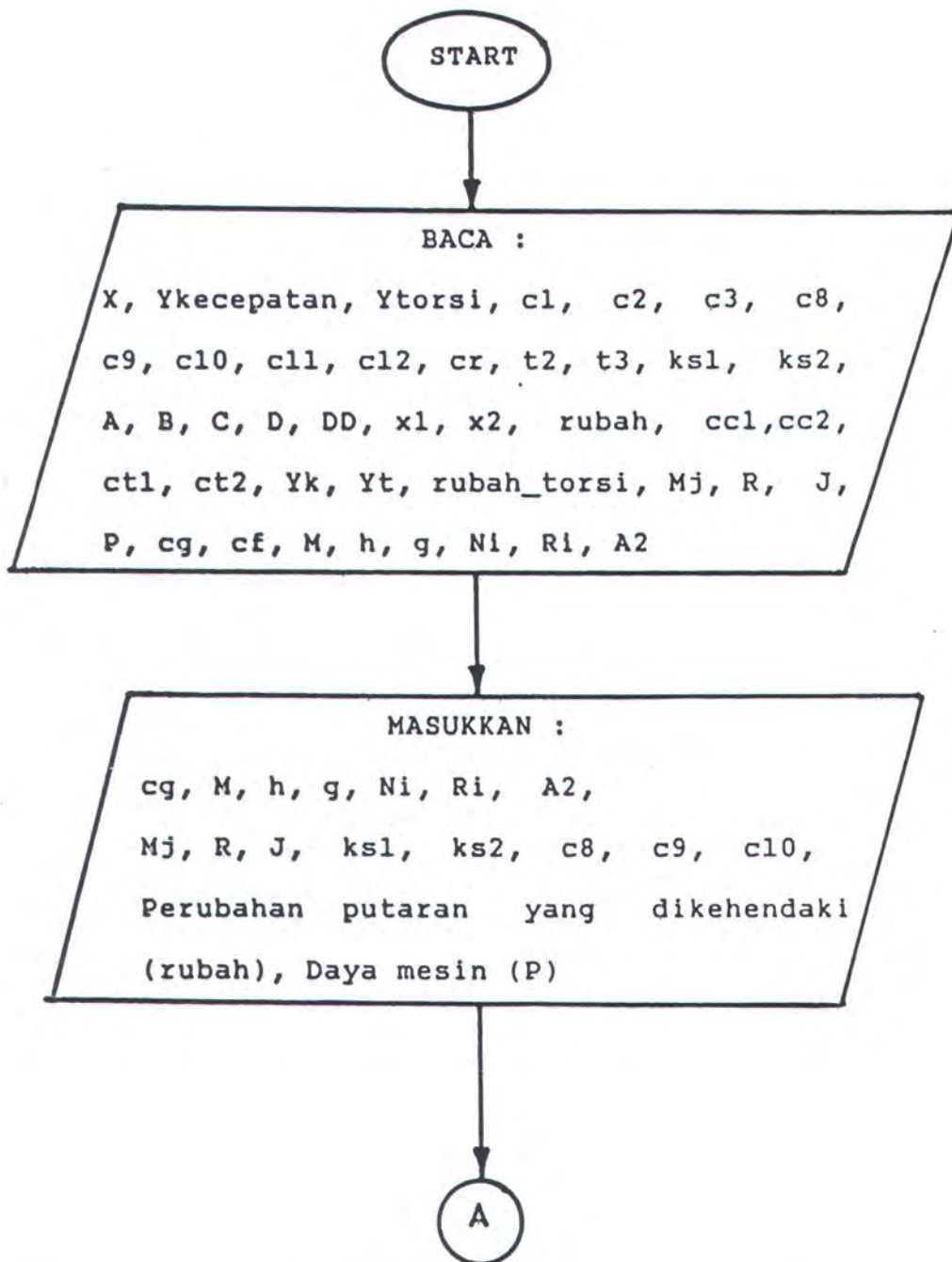


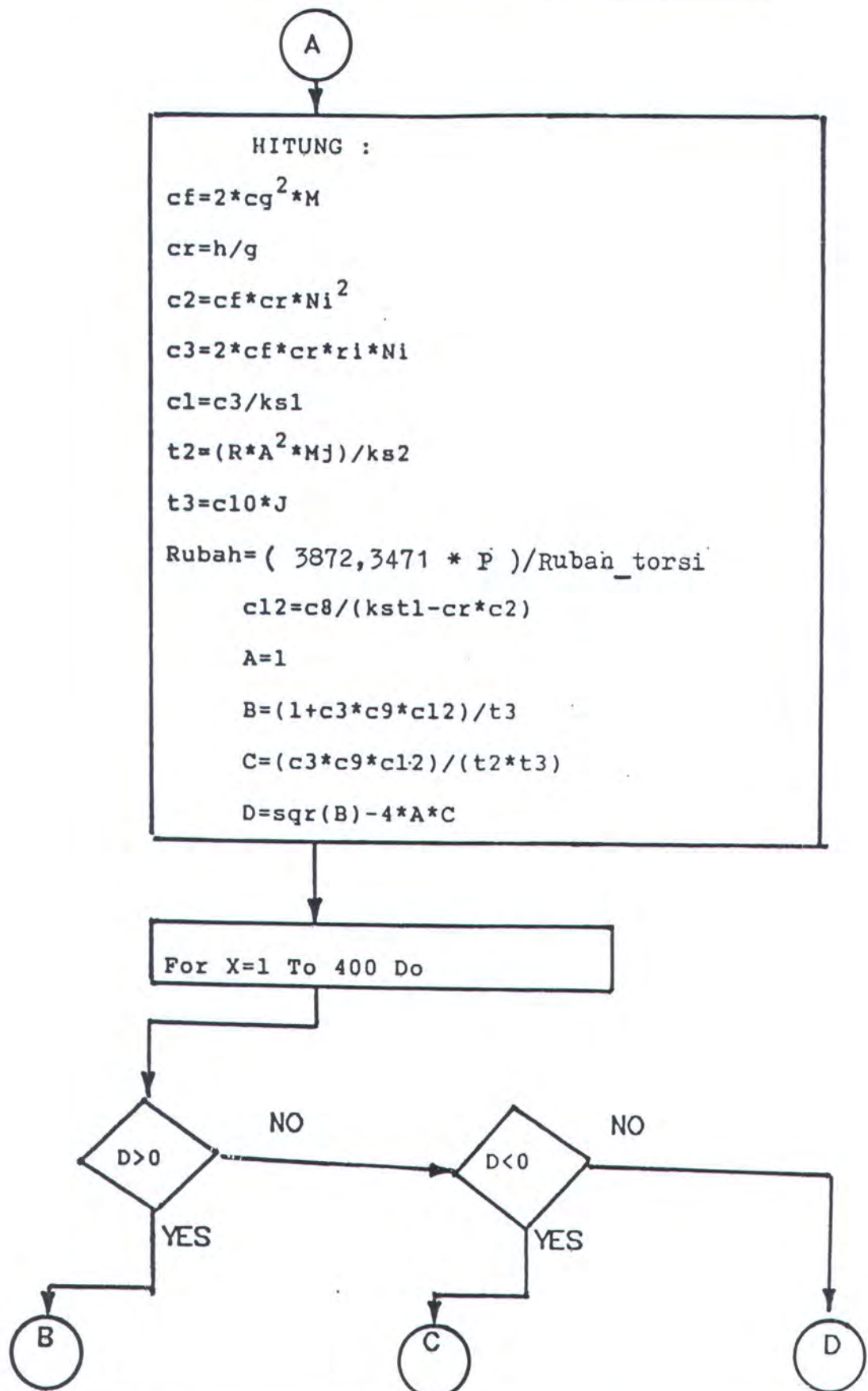




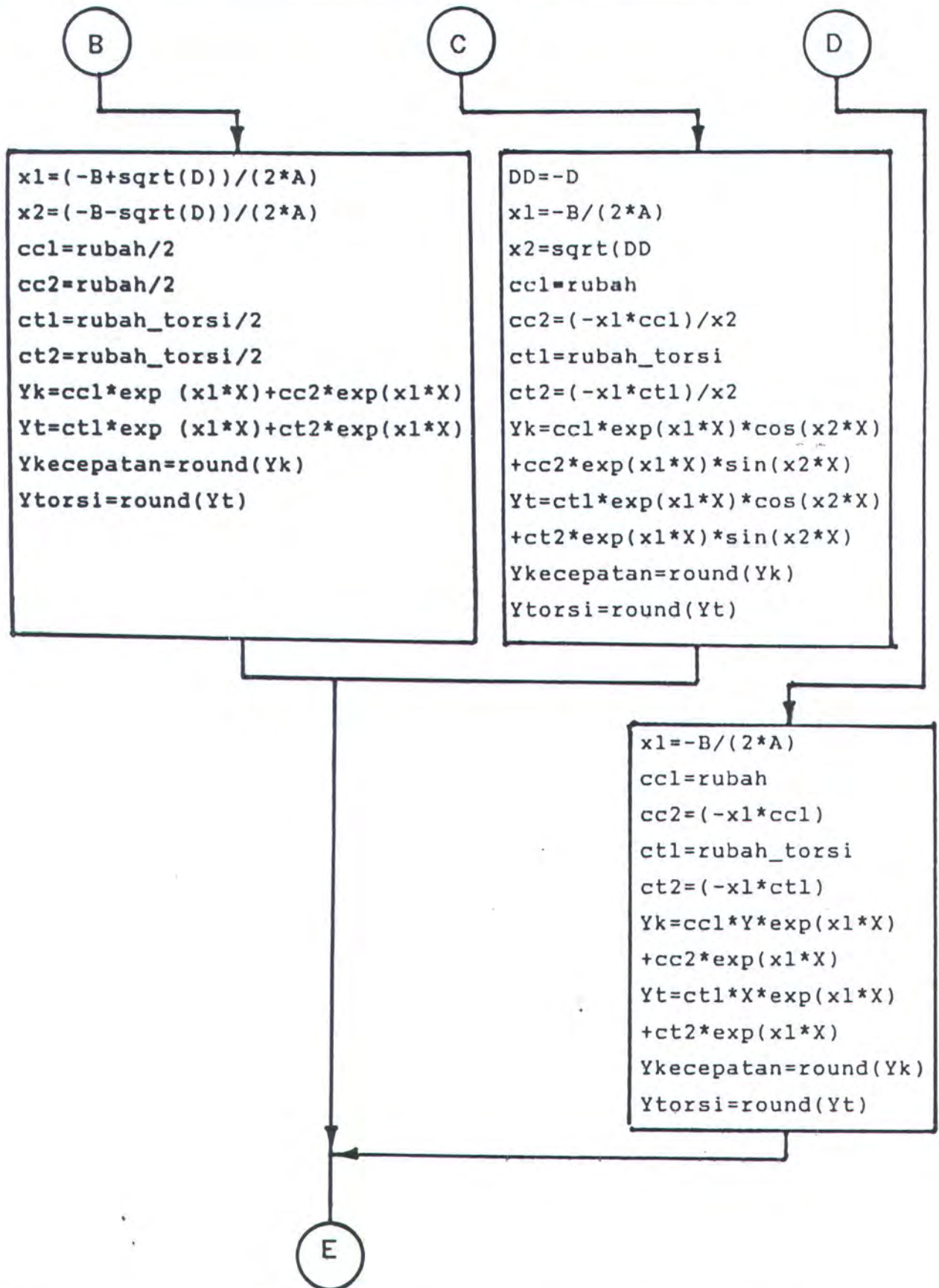
## DIAGRAM ALIR PROGRAM 3 :

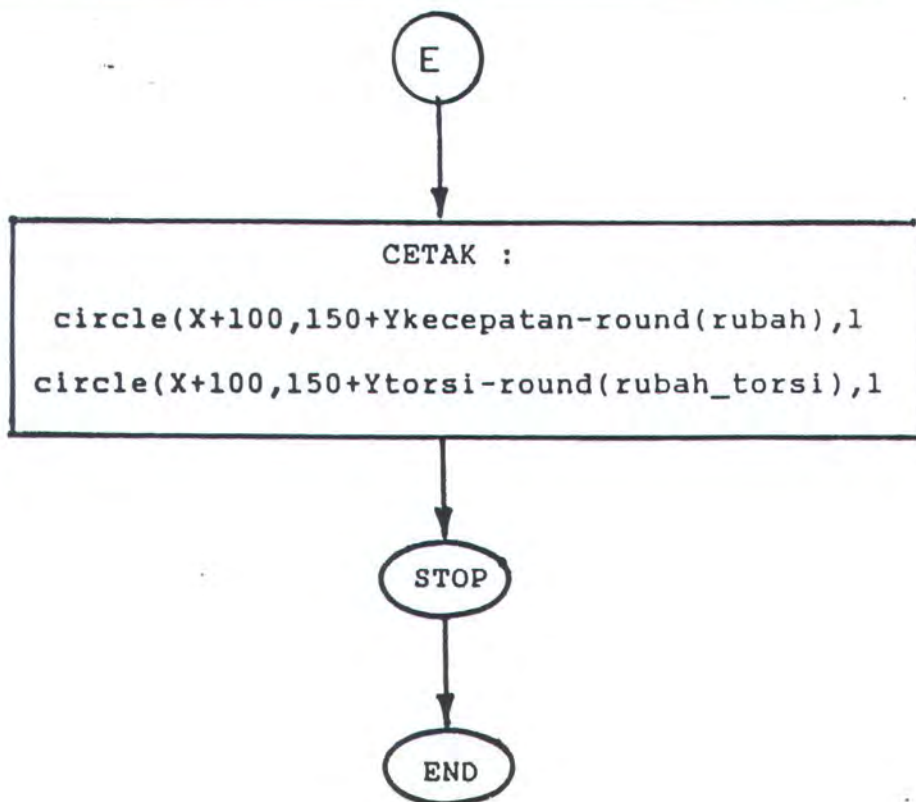
" SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS  
WAKTU DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER MESIN "





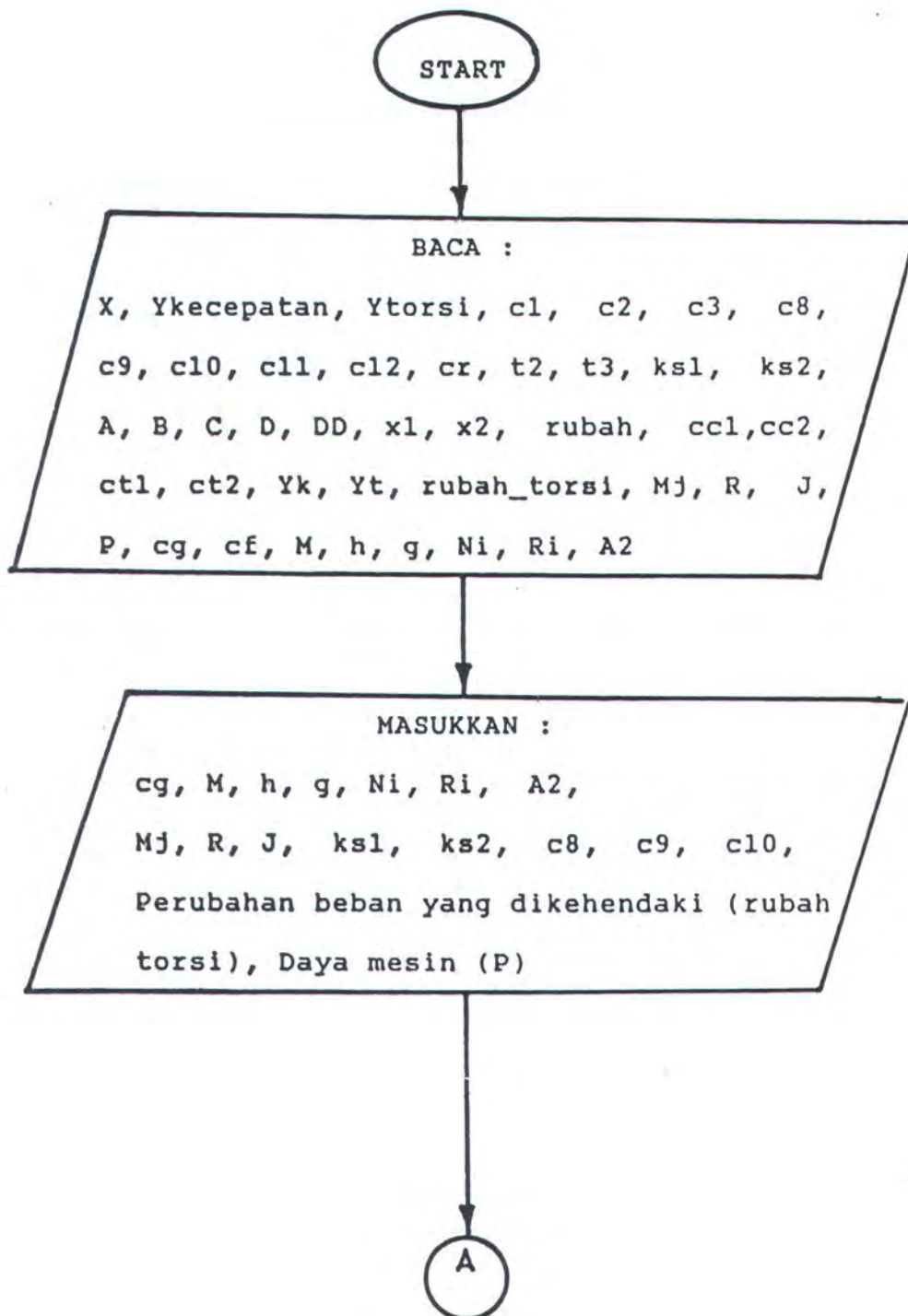




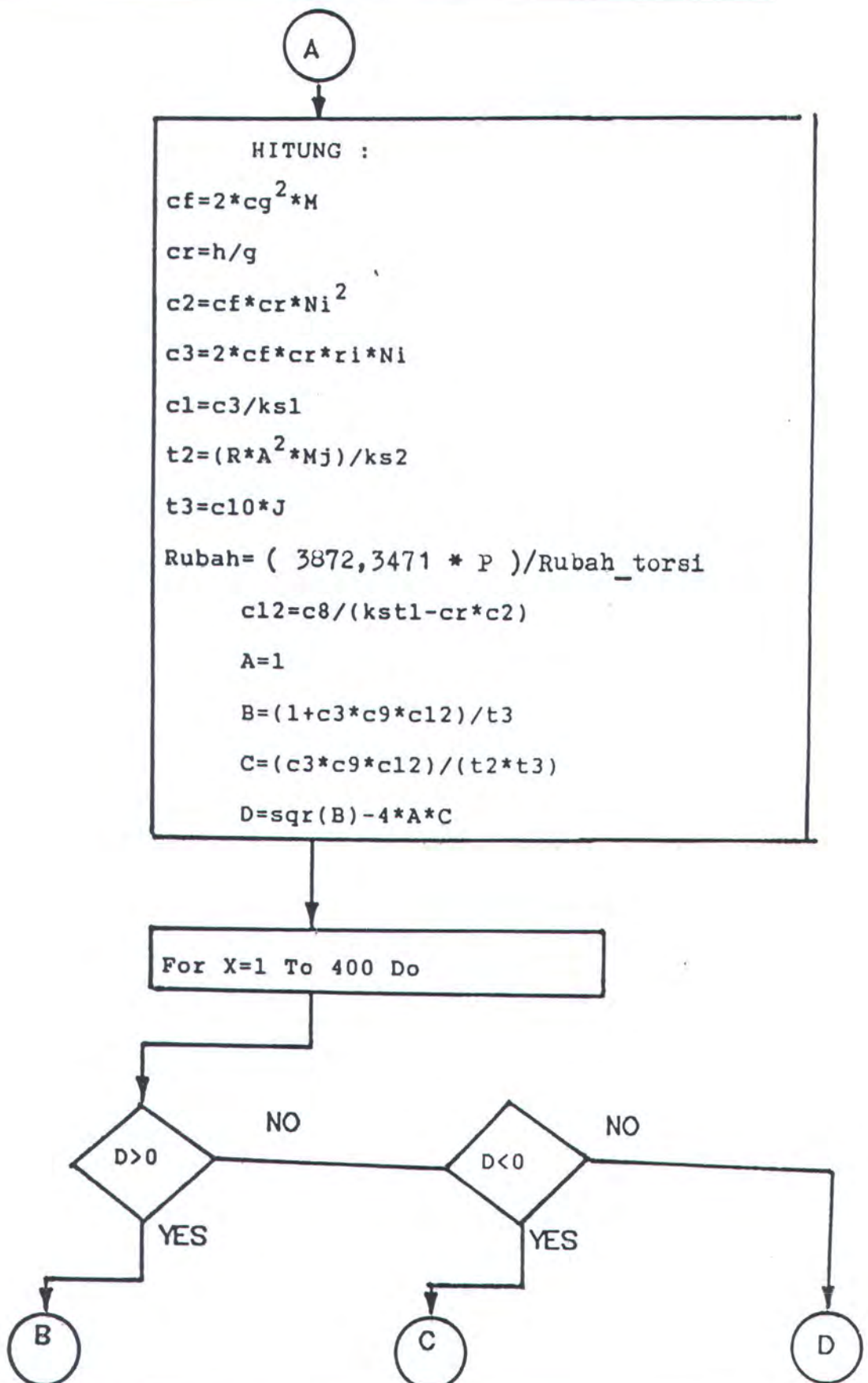


## DIAGRAM ALIR PROGRAM 4 :

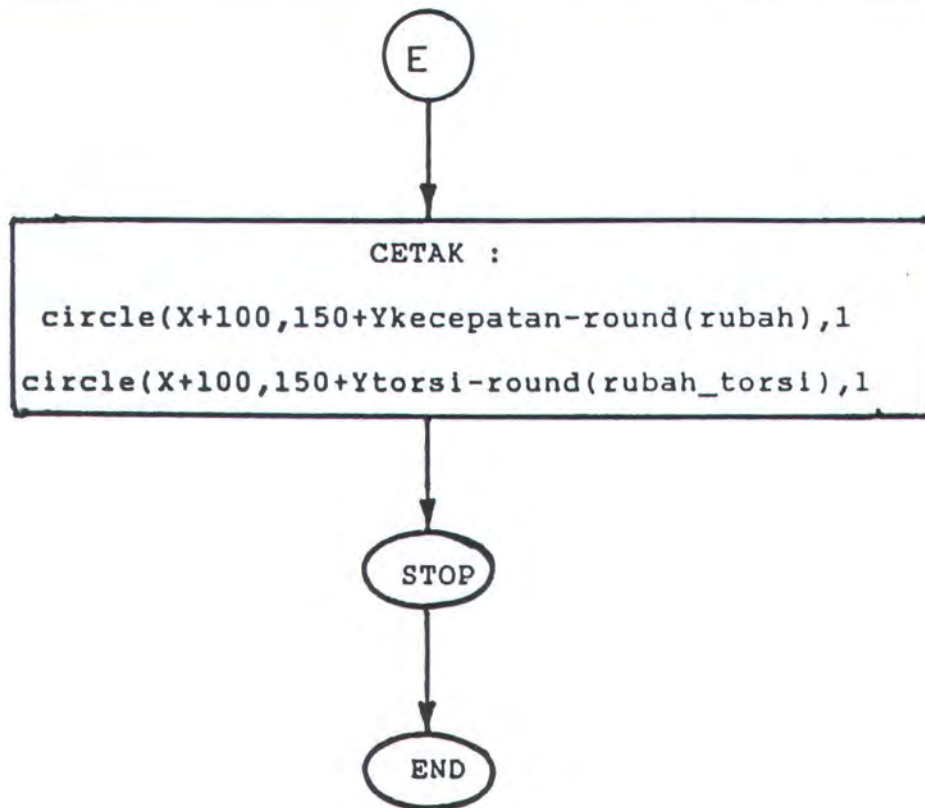
" SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN DAN PERUBAHAN TORSI VS  
WAKTU DENGAN INPUT TORSI DAN POWER MESIN "













---

4.2.2 PRINT OUT PROGRAM SIMULASI SISTEM GOVERNOR

(\* PROGRAM SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI VS WAKTU PADA GOVERNOR MOTOR INDUK KAPAL DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER MESIN

-----  
Program ini dibuat oleh :

Welly Suprasetyo

Nrp.491 420 0284

FTK / Teknik Sistem Perkapalan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 1996

-----\*)  
Uses Graph, Crt ;

Var

X, Ykecepatan, Ytorsion : Integer;

c1,c2,c3,c8,c9,c10,c11,c12,cr,t2,t3,Ks1,Ks2,

A,B,C,D,DD,x1,x2,ubah,cc1,cc2,ct1,ct2,Yk,Yt,

ubah\_torsion,Mj,R,J,P,

cg,cf,M,h,g,Ni,Ri,A2 : real;

Begin

clrscr;

(\* Bagian masukkan - masukkan data Governor yang diuji \*)

writeln('masukkan rasio roda gigi :');read(cg);

writeln('masukkan massa tiap flyweight (Kg) :');read(M);

writeln('masukkan jarak pasak ke pusat massa flyweight (meter):');

read(h);

writeln('masukkan jarak pasak ke kedudukan pegas (meter):');

read(g);

writeln('masukkan kecepatan awal (Rpm) :');read(Ni);

writeln('masukkan jarak dari pusat rotasi ke pusat massa');

---

```

writeln('flyweight mula-mula (meter):');read(Ri);
writeln('masukkan luas torak pada daspot (m2):');read(A2);
writeln('masukkan massa jenis minyak (Kg/m3):');read(Mj);
writeln('masukkan tahanan pada penghalang (1/m.dt):');read(R);
writeln('masukkan enersia rotasi mesin (Kg.m2):');read(J);
writeln('masukkan konstanta pegas pada flyweight (N/m):');
read(ks1);
writeln('masukkan konstanta pegas pada daspot (N/m):');read(ks2);
writeln('masukkan gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi');
writeln('[dQ/dy]i :');read(c8);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga');
writeln('acuan [dNo/dQ]t (Rpm):');read (c9);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan');
writeln('[dNo/dT]q (Rpm):');read (c10);
writeln('masukkan perubahan putaran yang dikehendaki (Rpm) :');
read(rubah);
writeln('masukkan daya mesin (BHP) :'); read(P);

```

```

(* Bagian perhitungan konstanta-konstanta *)

```

```

cf:=2*cg*exp(2)*M;
cr:=h/g;
c2:=cf*cr*Ni*exp(2);
c3:=2*cf*cr*Ri*Ni;
c1:=c3/Ks1;
t2:=(R*sqr(A2)*Mj)/Ks2;
t3:=c10*J;
c12 :=c8/(ks1-cr*c2);

```

```

Rubah_torsi := (0.38723471*P)/Rubah;

```

```

(* Penyelesaian persamaan difrensial dari sistem *)

```

```
A :=1;
B :=(1+c3*c9*c12)/t3;
C :=(c3*c9*c12)/(t2*t3);
D :=sqr(B)-4*A*C;

clrscr;
(* Kondisi determinan dari persamaan *)
For X :=1 To 400 Do
begin
  if(D>0.0) then

    begin
      x1 :=(-B+sqr(D))/(2*A);
      x2 :=(-B-sqr(D))/(2*A);
      cc1 :=rubah/2;
      cc2 :=rubah/2;
      ct1 :=rubah_torsi/2;
      ct2 :=rubah_torsi/2;
      Yk := cc1*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
      Yt := ct1*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
      Ykecepatan :=round(Yk);
      Ytorsi      :=round(Yt);

    end

  else if(D<0.0) then

    begin
      DD :=-D;
      x1 :=-B/(2*A);
      x2 :=sqr(DD)/(2*A);
      cc1 :=rubah;
      cc2 :=(-x1*cc1)/x2;
      ct1 :=rubah_torsi;
```



```

ct2 := (-x1*ct1)/x2;
Yk := ccl*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+cc2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Yt := ct1*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+ct2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Ykecepatan :=round(Yk);
Ytorsisi :=round(Yt);
end

```

```

else

```

```

begin
x1 :=-B/(2*A);
ccl :=rubah;
cc2 :=(-x1*ccl);
ct1 :=rubah_torsi;
ct2 :=(-x1*ct1);
Yk := ccl*X*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
Yt := ct1*X*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
Ykecepatan :=round(Yk);
Ytorsisi :=round(Yt);
end;

```

```

(* tampilan numerik untuk perubahan kecepatan dan torsi *)

```

```

writeln('| X =',X:8,'|');
writeln('
                                     4 ');
writeln('|perub-kecepatan =',Yk:10:4,'|perub-torsi =',Yt:10:4,'x10|');
writeln('-----');
readkey;
end;
end.

```

## 4.2.2 PRINT OUT PROGRAM SIMULASI SISTEM GOVERNOR

(\* PROGRAM SIMULASI NUMERIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI VS WAKTU PADA GOVERNOR MOTOR INDUK KAPAL DENGAN INPUT TORSI DAN POWER MESIN

-----  
Program ini dibuat oleh :

Welly Suprasetyo

Nrp.491 420 0284

FTK / Teknik Sistem Perkapalan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 1996

-----\*)

Uses Graph, Crt ;

Var

X, Ykecepatan, Ytorsi : Integer;

c1,c2,c3,c8,c9,c10,c11,c12,cr,t2,t3,Ks1,Ks2,

A,B,C,D,DD,x1,x2,rubah,ccl,cc2,ctl,ct2,Yk,Yt,

rubah\_torsi,Mj,R,J,P,

cg,cf,M,h,g,Ni,Ri,A2 : real;

Begin

clrscr;

(\* Bagian masukkan - masukkan data Governor yang diuji \*)

writeln('masukkan rasio roda gigi :');read(cg);

writeln('masukkan massa tiap flyweight (Kg) :');read(M);

writeln('masukkan jarak pasak ke pusat massa flyweight (meter):');read(h);

read(h);

writeln('masukkan jarak pasak ke kedudukan pegas (meter):');read(g);

read(g);

writeln('masukkan kecepatan awal (Rpm) :');read(Ni);

writeln('masukkan jarak dari pusat rotasi ke pusat massa');

---

```

writeln('flyweight mula-mula (meter):');read(Ri);
writeln('masukkan luas torak pada daspot (m2):');read(A2);
writeln('masukkan massa jenis minyak (Kg/m3):');read(Mj);
writeln('masukkan tahanan pada penghalang (l/m.dt):');read(R);
writeln('masukkan enersia rotasi mesin (Kg.m2):');read(J);
writeln('masukkan konstanta pegas pada flyweight (N/m):');
read(ks1);
writeln('masukkan konstanta pegas pada daspot (N/m):');read(ks2);
writeln('masukkan gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi');
writeln('[dQ/dy]i :');read(c8);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga');
writeln('acuan [dNo/dQ]t (Rpm):');read (c9);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('torsii dengan Q dijaga konstan pada harga acuan');
writeln('[dNo/dT]q (Rpm):');read (c10);
writeln('masukkan perubahan beban yang dikehendaki (N.m) :');
read(rubah_torsi);
writeln('masukkan daya mesin (BHP) :'); read(P);

```

```

(* Bagian perhitungan konstanta-konstanta *)

```

```

cf:=2*cg*exp(2)*M;
cr:=h/g;
c2:=cf*cr*Ni*exp(2);
c3:=2*cf*cr*Ri*Ni;
c1:=c3/Ks1;
t2:=(R*sqr(A2)*Mj)/Ks2;
t3:=c10*J;
c12 :=c8/(ks1-cr*c2);
Rubah :=(0.38723471*P)/Rubah_torsi;

```

```

(* Penyelesaian persamaan difrensial dari sistem *)

```

---



```
A :=1;
B :=(1+c3*c9*c12)/t3;
C :=(c3*c9*c12)/(t2*t3);
D :=sqr(B)-4*A*C;

clrscr;
(* Kondisi determinan dari persamaan *)

For X :=1 To 400 Do
begin
  if(D>0.0) then

    begin
      x1 :=(-B+sqr(D))/(2*A);
      x2 :=(-B-sqr(D))/(2*A);
      cc1 :=rubah/2;
      cc2 :=rubah/2;
      ct1 :=rubah_torsi/2;
      ct2 :=rubah_torsi/2;
      Yk := cc1*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
      Yt := ct1*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
      Ykecepatan :=round(Yk);
      Ytorsi      :=round(Yt);

    end

  else if(D<0.0) then

    begin
      DD :=-D;
      x1 :=-B/(2*A);
      x2 :=sqr(DD)/(2*A);
      cc1 :=rubah;
      cc2 :=(-x1*cc1)/x2;
      ct1 :=rubah_torsi;
```

```

ct2 := (-x1*ctl)/x2;
Yk := ccl*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+cc2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Yt := ctl*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+ct2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Ykecepatan :=round(Yk);
Ytorsil      :=round(Yt);
end

```

```

else

```

```

begin
x1 :=-B/(2*A);
ccl :=rubah;
cc2 :=(-x1*ccl);
ctl :=rubah_torsi;
ct2 :=(-x1*ctl);
Yk := ccl*X*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
Yt := ctl*X*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
Ykecepatan :=round(Yk);
Ytorsil      :=round(Yt);
end;

```

```

(* tampilan numerik untuk perubahan kecepatan dan torsi *)

```

```

writeln('| X =',X:8,'|');

```

```

writeln('
4');
writeln('|perub-kecepatan =',Yk:10:4,'|perub-torsi =',Yt:10:4,'x10|');
writeln('-----');

```

```

readkey;

```

```

end;

```

```

end.

```

---

PROGRAM SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI VS WAKTU PADA GOVERNOR MOTOR INDUK KAPAL DENGAN INPUT KECEPATAN DAN POWER

---

Program ini dibuat oleh :

Welly Suprasetyo

Nrp.491 420 0284

FTK / Teknik Sistem Perkapalan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 1996

---

\*)

Uses Graph, Crt;

Var

DriverGrafik, ModeGrafik : Integer;

X, Ykecepatan, Ytorsil : Integer;

c1,c2,c3,c8,c9,c10,c11,c12,cr,t2,t3,Ks1,Ks2,

A,B,C,D,DD,x1,x2,rubah,cc1,cc2,ct1,ct2,Yk,Yt,

rubah\_torsil,Mj,R,J,P,

cg,cf,M,h,g,Nl,Rl,A2 : real;

Begin

clrscr;

(\* Bagian masukkan - masukkan data Governor yang diuji \*)

writeln('masukkan rasio roda gigi :');read(cg);

writeln('masukkan massa tiap flyweight (Kg) :');read(M);

writeln('masukkan jarak pasak ke pusat massa flyweight (meter):');  
read(h);

writeln('masukkan jarak pasak ke kedudukan pegas (meter):');  
read(g);

writeln('masukkan kecepatan awal (Rpm) :');read(Nl);

writeln('masukkan jarak dari pusat rotasi ke pusat massa ');

writeln('flyweight mula-mula (meter):');read(Rl);

writeln('masukkan luas torak pada daspot (m2) :');read(A2);

---



---

```

writeln('masukkan massa jenis minyak (Kg/m3) :');read(Mj);
writeln('masukkan tahanan pada penghalang (l/m.dt):');read(R);
writeln('masukkan inersia rotasi mesin (Kg.m2):');read(J);
writeln('masukkan konstanta pegas pada flyweight (N/m):');
read(ks1);
writeln('masukkan konstanta pegas pada daspot (N/m):');
read(ks2);
writeln('masukkan gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi');
writeln('[dQ/dy]i :');read(c8);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga');
writeln('acuan [dNo/dQ]t (Rpm):');read (c9);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan');
writeln('[dNo/dT]q (Rpm):');read (c10);
writeln('masukkan perubahan putaran yang dikehendaki (Rpm) :');
read(rubah);
writeln('masukkan daya mesin (BHP) :'); read(P);

```

```

DriverGrafik :=VGA;
ModeGrafik :=VGALo;
InitGraph(DriverGrafik, ModeGrafik, '');
(* Bagian perhitungan konstanta-konstanta *)
cf:=2*sqr(cg)*M;
cr:=h/g;
c2:=cf*cr*sqr(Ni);
c3:=2*cf*cr*Ri*Ni;
c1:=c3/Ks1;
t2:=(R*sqr(A2)*Mj)/Ks2;
t3:=c10*J;
c12 :=c8/(ks1-cr*c2);
Rubah_torsi :=(0.38723471*P)/Rubah;

```

```
(* Penyelesaian persamaan difrensial dari sistem *)
```

```
A :=1;
B :=(1+c3*c9*c12)/t3;
C :=(c3*c9*c12)/(t2*t3);
D :=sqr(B)-4*A*C;
```

```
(* Tampilan grafik dan plotter skala *)
```

```
Begin;
setcolor(4);
Line(100,10,500,10);
Line(500,10,500,120);
Line(100,120,500,120);
Line(100,10,100,120);
Line(100,120-round(rubah),500,120-round(rubah));
Line(100,120-round(rubah_torsi),500,120-round(rubah_torsi));
moveto(510,120);outtext('WAKTU DINAMIS');
moveto(510,130);outtext('----->');
moveto(50,1);outtext('PERUBAHAN KECEPATAN DAN TORSI');
Line(48,15,48,45);moveto(45,10);outtext('^');

setcolor(1);
moveto(520,50);outtext('KECEPATAN[BLUE]');
setcolor(5);
moveto(520,75);outtext('TORSI[MAGENTA]');
moveto(520,85);outtext('< X 10.000 >');
setcolor(3);
moveto(100,165);outtext('GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI')

moveto(100,180);outtext('VS WAKTU');

setcolor(2);
line(100,130,500,130);
```

```
moveto(100,140);outtext('0');moveto(200,140);outtext('100');
moveto(300,140);outtext('200');moveto(400,140);outtext('300');

moveto(500,140);outtext('400');

setcolor(2);
line(65,10,65,120);
moveto(75,10);outtext('100');moveto(75,37);outtext('75');
moveto(75,65);outtext('50');moveto(75,92);outtext('25');
moveto(75,120);outtext('0');

end;

(* Kondisi determinan dari persamaan *)

For X :=1 To 400 Do
Begin
    if(D>0.0) then
        begin
            x1 :=(-B+sqrt(D))/(2*A);
            x2 :=(-B-sqrt(D))/(2*A);
            cc1 :=rubah/2;
            cc2 :=rubah/2;
            ct1 :=rubah_torsi/2;
            ct2 :=rubah_torsi/2;
            Yk := cc1*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
            Yt := ct1*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
            Ykecepatan :=round(Yk);
            Ytorsi      :=round(Yt);

            end
        end
    end
```

```
else if(D<0.0) then
```



```

begin
DD := -D;
x1 := -B/(2*A);
x2 := sqrt(DD)/(2*A);
cc1 := rubah;
cc2 := (-x1*cc1)/x2;
ct1 := rubah_torsi;
ct2 := (-x1*ct1)/x2;
Yk := cc1*exp(x1*X)*cos(x2*X)
+cc2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Yt := ct1*exp(x1*X)*cos(x2*X)
+ct2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Ykecepatan := round(Yk);
Ytorsi := round(Yt);
end

```

```

else

```

```

begin
x1 := -B/(2*A);
cc1 := rubah;
cc2 := (-x1*cc1);
ct1 := rubah_torsi;
ct2 := (-x1*ct1);
Yk := cc1*X*exp(x1*X)+cc2*exp(x1*X);
Yt := ct1*X*exp(x1*X)+ct2*exp(x1*X);
Ykecepatan := round(Yk);
Ytorsi := round(Yt);
end;

(* tampilan grafik untuk perubahan kecepatan *)
setcolor(1);
circle(X+100,120+Ykecepatan-round(rubah),1);

```

```
(* tampilan grafik untuk perubahan beban *)  
setcolor(5);  
circle(X+100,120+Ytorsis-round(rubah_torsi),1);  
  
readkey;  
End;  
end.
```

(\* PROGRAM SIMULASI GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI VS WAKTU PADA GOVERNOR MOTOR INDUK KAPAL DENGAN INPUT TORSI DAN POWER

-----

Program ini dibuat oleh :

Welly Suprasetyo

Nrp.491 420 0284

FTK / Teknik Sistem Perkapalan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 1996

-----\*)

Uses Graph, Crt;

Var

DriverGrafik, ModeGrafik : Integer;

X, Ykecepatan, Ytorsil : Integer;

c1,c2,c3,c8,c9,c10,c11,c12,cr,t2,t3,Ks1,Ks2,

A,B,C,D,DD,x1,x2,rubah,cc1,cc2,ct1,ct2,Yk,Yt,

rubah\_torsil,Mj,R,J,P,

cg,cf,M,h,g,Nl,Rl,A2 : real;

Begin

clrscr;

(\* Bagian masukkan - masukkan data Governor yang diuji \*)

writeln('masukkan rasio roda gigi :');read(cg);

writeln('masukkan massa tiap flyweight (Kg) :');read(M);

writeln('masukkan Jarak pasak ke pusat massa flyweight (meter):');  
read(h);

writeln('masukkan Jarak pasak ke kedudukan pegas (meter):');  
read(g);

writeln('masukkan kecepatan awal (Rpm) :');read(Nl);

writeln('masukkan Jarak dari pusat rotasi ke pusat massa ');

writeln('flyweight mula-mula (meter):');read(Rl);

writeln('masukkan luas torak pada daspot (m2) :');read(A2);



---

```

writeln('masukkan massa jenis minyak (Kg/m3) :');read(Mj);
writeln('masukkan tahanan pada penghalang (l/m.dt):');read(R);
writeln('masukkan inersia rotasi mesin (Kg.m2):');read(J);
writeln('masukkan konstanta pegas pada flyweight (N/m):');
read(ks1);
writeln('masukkan konstanta pegas pada daspot (N/m):');read(ks2);
writeln('masukkan gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi');
writeln('[dQ/dy]i :');read(c8);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga');
writeln('acuan [dNo/dQ]t (Rpm):');read (c9);
writeln('masukkan perubahan kecepatan pada setiap perubahan');
writeln('torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan');
writeln('[dNo/dT]q (Rpm):');read (c10);
writeln('masukkan perubahan beban yang dikehendaki (N.m) :');
read(rubah_torsi);
writeln('masukkan daya mesin (HP) :'); read(P);

```

```

DriverGrafik :=VGA;
ModeGrafik :=VGALo;
InitGraph(DriverGrafik, ModeGrafik,'');

```

```

(* Bagian perhitungan konstanta-konstanta *)
cf:=2*sqr(cg)*M;
cr:=h/g;
c2:=cf*cr*sqr(Ni);
c3:=2*cf*cr*Ri*Ni;
c1:=c3/Ks1;
t2:=(R*sqr(A2)*Mj)/Ks2;
t3:=c10*J;
c12 :=c8/(ks1-cr*c2);
Rubah :=(0.38723471*P)/Rubah_torsi;

```

---

```
(* Penyelesaian persamaan difrensial dari sistem *)
```

```
A :=1;
B :=(1+c3*c9*c12)/t3;
C :=(c3*c9*c12)/(t2*t3);
D :=sqr(B)-4*A*C;
```

```
(* Tampilan grafik dan plotter skala *)
```

```
Begin;
setcolor(4);
Line(100,10,500,10);
Line(500,10,500,120);
Line(100,120,500,120);
Line(100,10,100,120);
Line(100,120-round(rubah),500,120-round(rubah));
Line(100,120-round(rubah_torsi),500,120-round(rubah_torsi));
moveto(510,120);outtext('WAKTU DINAMIS');
moveto(510,130);outtext('----->');
moveto(50,1);outtext('PERUBAHAN KECEPATAN DAN TORSI');
Line(48,15,48,45);moveto(45,10);outtext('^');

setcolor(1);
moveto(520,50);outtext('KECEPATAN[BLUE]');
moveto(520,60);outtext('< X 10000 >');
setcolor(5);
moveto(520,75);outtext('TORSI[MAGENTA]');
setcolor(3);
moveto(100,165);outtext('GRAFIK PERUBAHAN KECEPATAN & TORSI'

moveto(100,180);outtext('VS WAKTU');

setcolor(2);
line(100,130,500,130);
moveto(100,140);outtext('0');moveto(200,140);outtext('100');
```

---

```
moveto(300,140);outtext('200');moveto(400,140);outtext('300'

moveto(500,140);outtext('400');

setcolor(2);
line(65,10,65,120);
moveto(75,10);outtext('100');moveto(75,37);outtext('75');
moveto(75,65);outtext('50');moveto(75,92);outtext('25');
moveto(75,120);outtext('0');

end;

(* Kondisi determinan dari persamaan *)

For X :=1 To 400 Do

Begin

    if(D>0.0) then

        begin
            x1 :=(-B+sqrt(D))/(2*A);
            x2 :=(-B-sqrt(D))/(2*A);
            cc1 :=rubah/2;
            cc2 :=rubah/2;
            ct1 :=rubah_torsi/2;
            ct2 :=rubah_torsi/2;
            Yk := cc1*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
            Yt := ct1*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
            Ykecepatan :=round(Yk);
            Ytorsi      :=round(Yt);

            end

        else if(D<0.0) then
```

---



```

begin
DD := -D;
x1 := -B/(2*A);
x2 := sqrt(DD)/(2*A);
cc1 := rubah;
cc2 := (-x1*cc1)/x2;
ct1 := rubah_torsi;
ct2 := (-x1*ct1)/x2;
Yk := cc1*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+cc2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Yt := ct1*exp (x1*X)*cos(x2*X)
+ct2*exp(x1*X)*sin(x2*X);
Ykecepatan := round(Yk);
Ytorsi      := round(Yt);
end

```

```

else

```

```

begin
x1 := -B/(2*A);
cc1 := rubah;
cc2 := (-x1*cc1);
ct1 := rubah_torsi;
ct2 := (-x1*ct1);
Yk := cc1*X*exp (x1*X)+cc2*exp(x1*X);
Yt := ct1*X*exp (x1*X)+ct2*exp(x1*X);
Ykecepatan := round(Yk);
Ytorsi      := round(Yt);
end;

```

```

(* tampilan grafik untuk perubahan kecepatan *)
setcolor(1);
circle(X+100,120+Ykecepatan-round(rubah),1);

```

```
(* tampilan grafik untuk perubahan beban *)  
setcolor(5);  
circle(X+100,120+Ytorsion-round(rubah_torsi),1);  
  
readkey;  
End;  
end.
```

1. Simulasi Numerik dan Grafik Perubahan Kecepatan dan Perubahan Torsi VS Waktu dengan input Kecepatan dan Power Mesin.

MASUKAN - MASUKAN :

A. DATA ENGINE : MAN-B&W

- |          |            |               |             |
|----------|------------|---------------|-------------|
| - Type   | : L 42 MCE | - Power       | : 2240 BHP  |
| - Stroke | : 1360 mm  | - SFOC at MCR | : 121 g/BHP |
| - Bore   | : 420 mm   |               |             |
| - Speed  | : 126 Rpm  |               |             |

DATA GOVERNOR :

- Rasio roda gigi (cg) = 1
- Massa tiap flyweight (M) = 0,037 Kg
- Jarak pasak ke pusat massa flyweight (h) = 5 Cm  
= 0,05 m
- Jarak pasak ke kedudukan pegas (g) = 5 Cm = 0,05 m
- Kecepatan awal (Ni) = 30 Rpm
- Jarak pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula  
- mula (Ri) = 0,0265 m
- Luas torak pada daspot (A2) = 0,0746 m<sup>2</sup>
- Massa jenis minyak (Mj) = 899 Kg/m<sup>3</sup>
- Tahanan penghalang pada daspot (R) = 2 / m.dt
- Enersia rotasi mesin (J) = 983,6 Kg.m<sup>2</sup>
- Konstanta pegas pada flyweight (Ks1) = 80 N/m



- Konstanta pegas pada daspot ( $K_{s2}$ ) = 100 N/m
- Gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi  $[dQ/dY]_i$  (c8) = 10
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dQ]_t$  (c9) = 2,45
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dT]_q$  (c10) = 0,0305

PERUBAHAN KECEPATAN YANG DIINGINKAN : 50 Rpm

POWER MESIN : 2240 HP

#### B. DATA ENGINE : CATERPILLAR

- Type : CAT-3606 MC
- Stroke : 300 mm
- Bore : 280 mm
- Speed : 750 Rpm
- Power : 2200 BHP
- Displacement: 110,8 liter
- Jml Cylinder: 6 Cylinder

#### DATA GOVERNOR :

- Rasio roda gigi (cg) = 1
- Massa tiap flyweight (M) = 0,01 Kg
- Jarak pasak ke pusat massa flyweight (h) = 6,5

0,065 m

- Kecepatan awal ( $N_i$ ) = 30 Rpm
- Jarak pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula
- mula ( $R_i$ ) = 0,01 m
- Luas torak pada daspot ( $A_2$ ) =  $0,1 \text{ m}^2$
- Massa jenis minyak ( $M_j$ ) =  $868 \text{ Kg/m}^3$
- Tahanan penghalang pada daspot ( $R$ ) = 3 / m.dt
- Enersia rotasi mesin ( $J$ ) =  $983,6 \text{ Kg.m}^2$
- Konstanta pegas pada flyweight ( $K_{s1}$ ) = 75 N/m
- Konstanta pegas pada daspot ( $K_{s2}$ ) = 148,5 N/m
- Gradien kurva  $Q$  vs  $Y$  hasil evaluasi  $[dQ/dY]_i$   
(c8) = 15
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan  $T$  dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dQ]_t$  (c9) = 2
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan  $Q$  dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dT]_q$  (c10) = 0,015

PERUBAHAN KECEPATAN YANG DIINGINKAN : 50 Rpm

POWER MESIN : 2200 HP

2. Simulasi Numerik dan Grafik Perubahan Kecepatan dan Perubahan Torsi VS Waktu dengan input Torsi dan Power Mesin.

MASUKAN - MASUKAN :

A. DATA ENGINE : MAN-B&W

- |          |            |               |             |
|----------|------------|---------------|-------------|
| - Type   | : L 42 MCE | - Power       | : 2240 BHP  |
| - Stroke | : 1360 mm  | - SFOC at MCR | : 121 g/BHP |
| - Bore   | : 420 mm   |               |             |
| - Speed  | : 126 Rpm  |               |             |

DATA GOVERNOR :

- Rasio roda gigi (cg) = 1
- Massa tiap flyweight (M) = 0,037 Kg
- Jarak pasak ke pusat massa flyweight (h) = 5 Cm  
= 0,05 m
- Jarak pasak ke kedudukan pegas (g) = 5 Cm = 0,05 m
- Kecepatan awal (Ni) = 30 Rpm
- Jarak pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula  
- mula (Ri) = 0,0265 m
- Luas torak pada daspot (A2) = 0,0746 m<sup>2</sup>
- Massa jenis minyak (Mj) = 899 Kg/m<sup>3</sup>
- Tahanan penghalang pada daspot (R) = 2 /m.dt
- Enersia rotasi mesin (J) = 983,6 Kg.m<sup>2</sup>
- Konstanta pegas pada flyweight (Ks1) = 80 N/m



- Konstanta pegas pada daspot ( $K_{s2}$ ) = 100 N/m
- Gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi  $[dQ/dY]_i$  (c8) = 10
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dQ]_t$  (c9) = 2,45
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan  $[dN/dT]_q$  (c10) = 0,0305

PERUBAHAN TORSI YANG TERJADI : 35 N.m

POWER MESIN : 2240 HP

#### B. DATA ENGINE : CATERPILLAR

- Type : CAT-3606 MC
- Stroke : 300 mm
- Bore : 280 mm
- Speed : 750 Rpm
- Power : 2200 BHP
- Displacement: 110,8 liter
- Jml Cylinder: 6 Cylinder

#### DATA GOVERNOR :

- Rasio roda gigi (cg) = 1
- Massa tiap flyweight (M) = 0,01 Kg
- Jarak pasak ke pusat massa flyweight (h) = 6,5

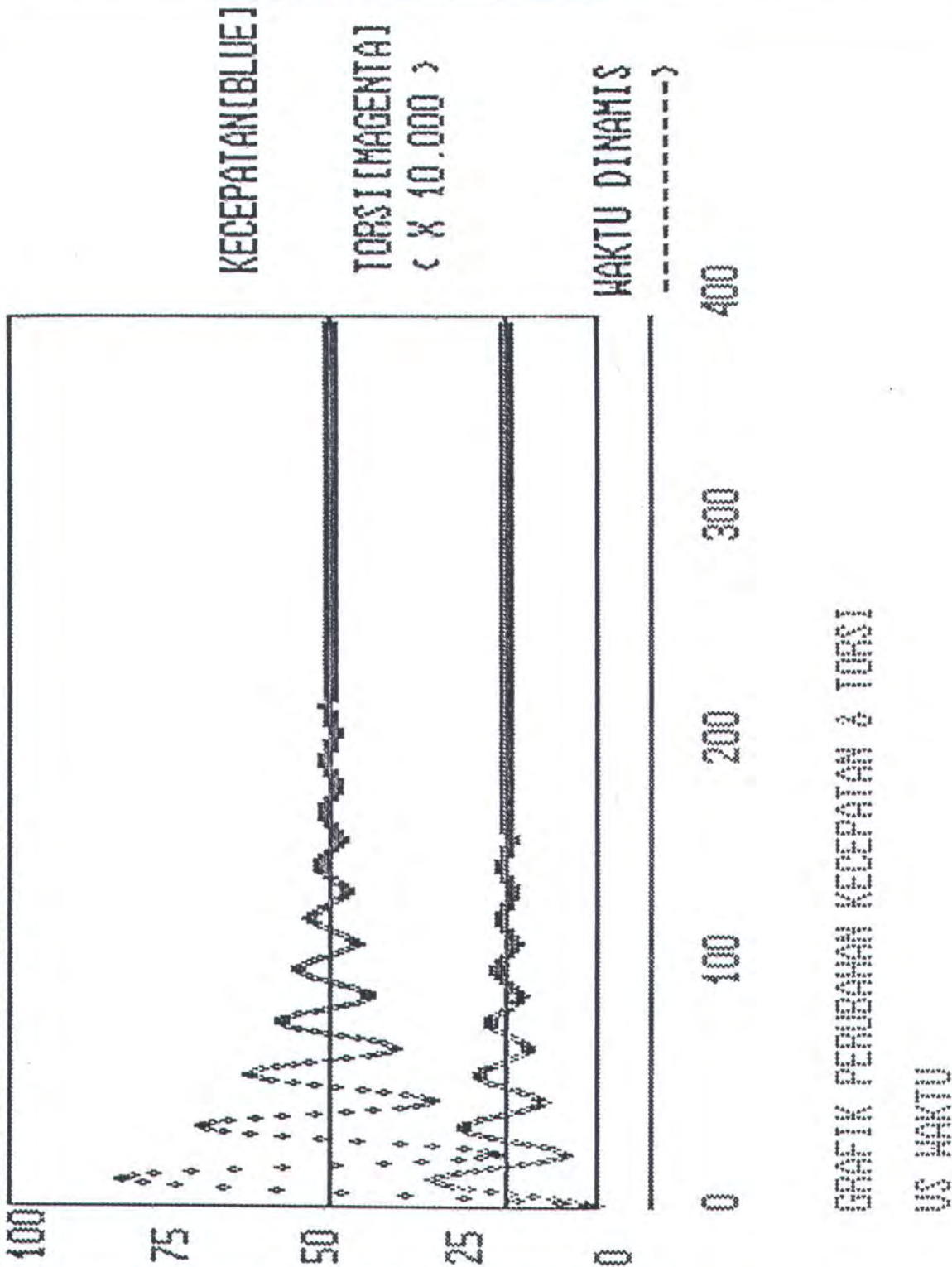
$$C_m = 0,065 \text{ m}$$

- Jarak pasak ke kedudukan pegas (g) = 6,5 Cm = 0,065 m
- Kecepatan awal (Ni) = 30 Rpm
- Jarak pusat rotasi ke pusat massa flyweight mula - mula (Ri) = 0,01 m
- Luas torak pada daspot (A2) = 0,1 m<sup>2</sup>
- Massa jenis minyak (Mj) = 868 Kg/m<sup>3</sup>
- Tahanan penghalang pada daspot (R) = 3 / m.dt
- Enersia rotasi mesin (J) = 983,6 Kg.m<sup>2</sup>
- Konstanta pegas pada flyweight (Ks1) = 75 N/m
- Konstanta pegas pada daspot (Ks2) = 148,5 N/m
- Gradien kurva Q vs Y hasil evaluasi [dQ/dY]i (c8) = 15
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan aliran bahan bakar dengan T dijaga konstan pada harga acuan [dN/dQ]t (c9) = 2
- Perubahan kecepatan pada setiap perubahan torsi dengan Q dijaga konstan pada harga acuan [dN/dT]q (c10) = 0,015

PERUBAHAN TORSI YANG TERJADI : 35 N.m

POWER MESIN : 2200 HP

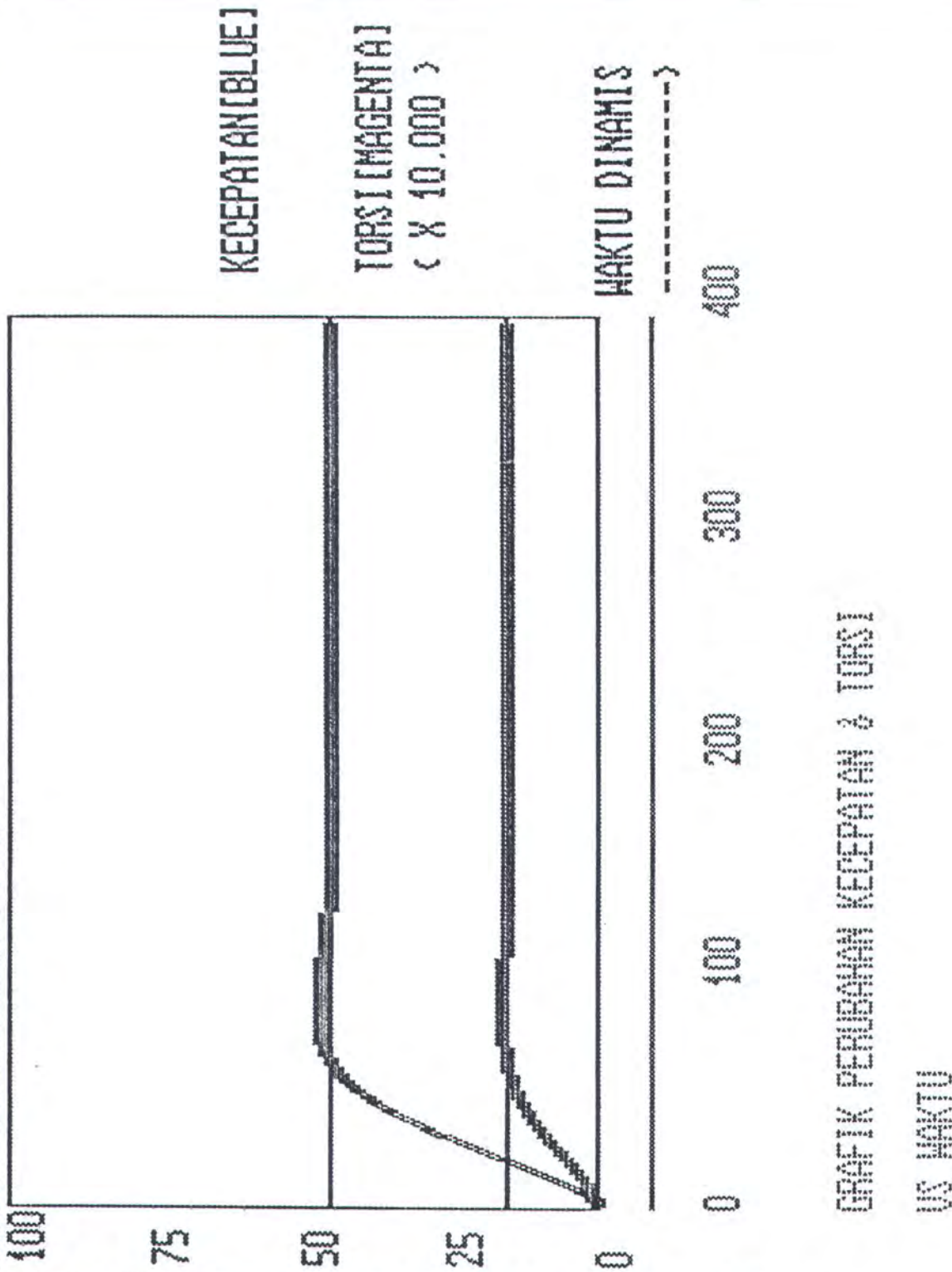
PERUBAHAN KECEPATAN DAN TORSI



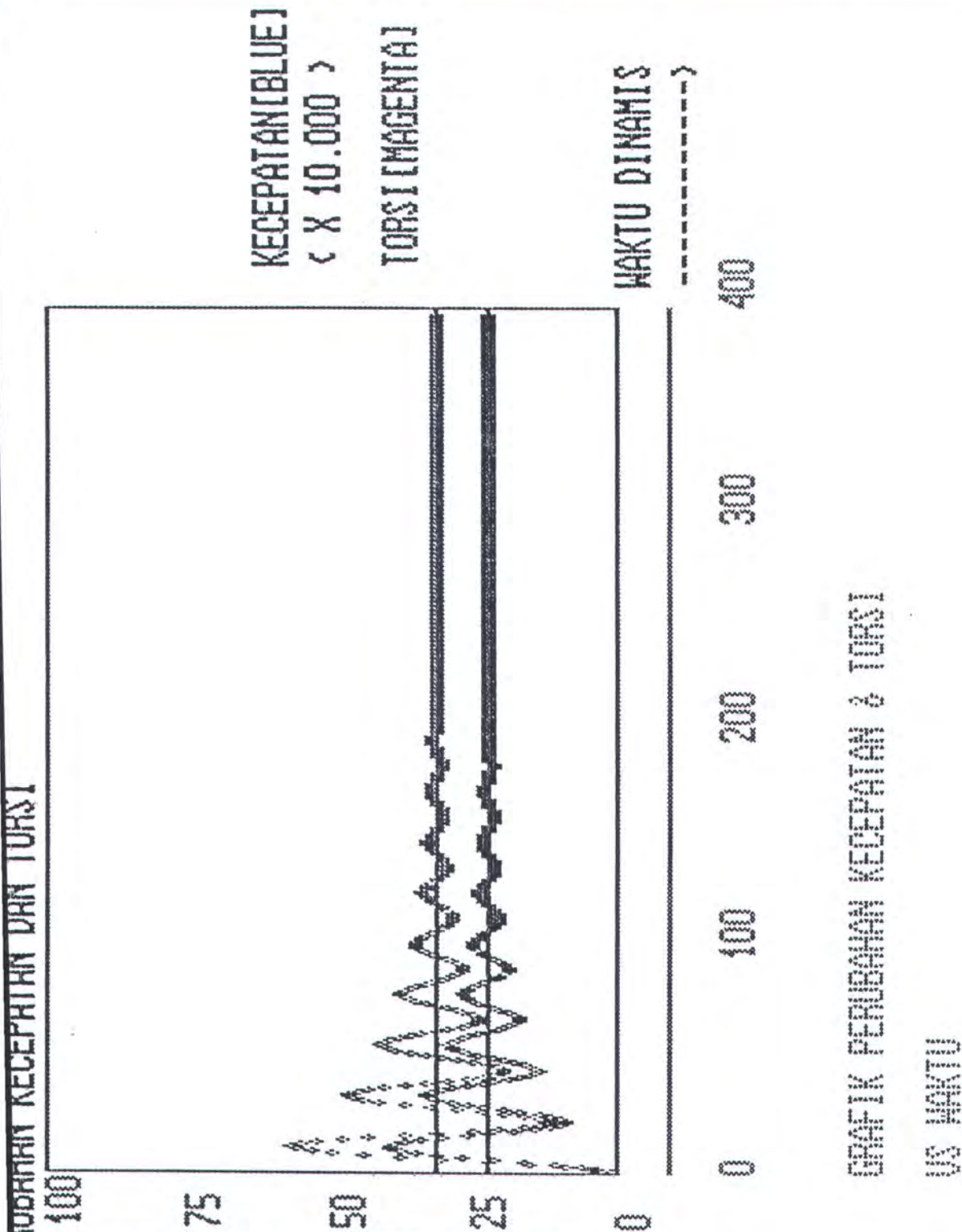
Gambar-10 Mesin MAN-B&W L42MCE 2240 BHP dengan GOVERNOR-1  
Input Perubahan RPM.



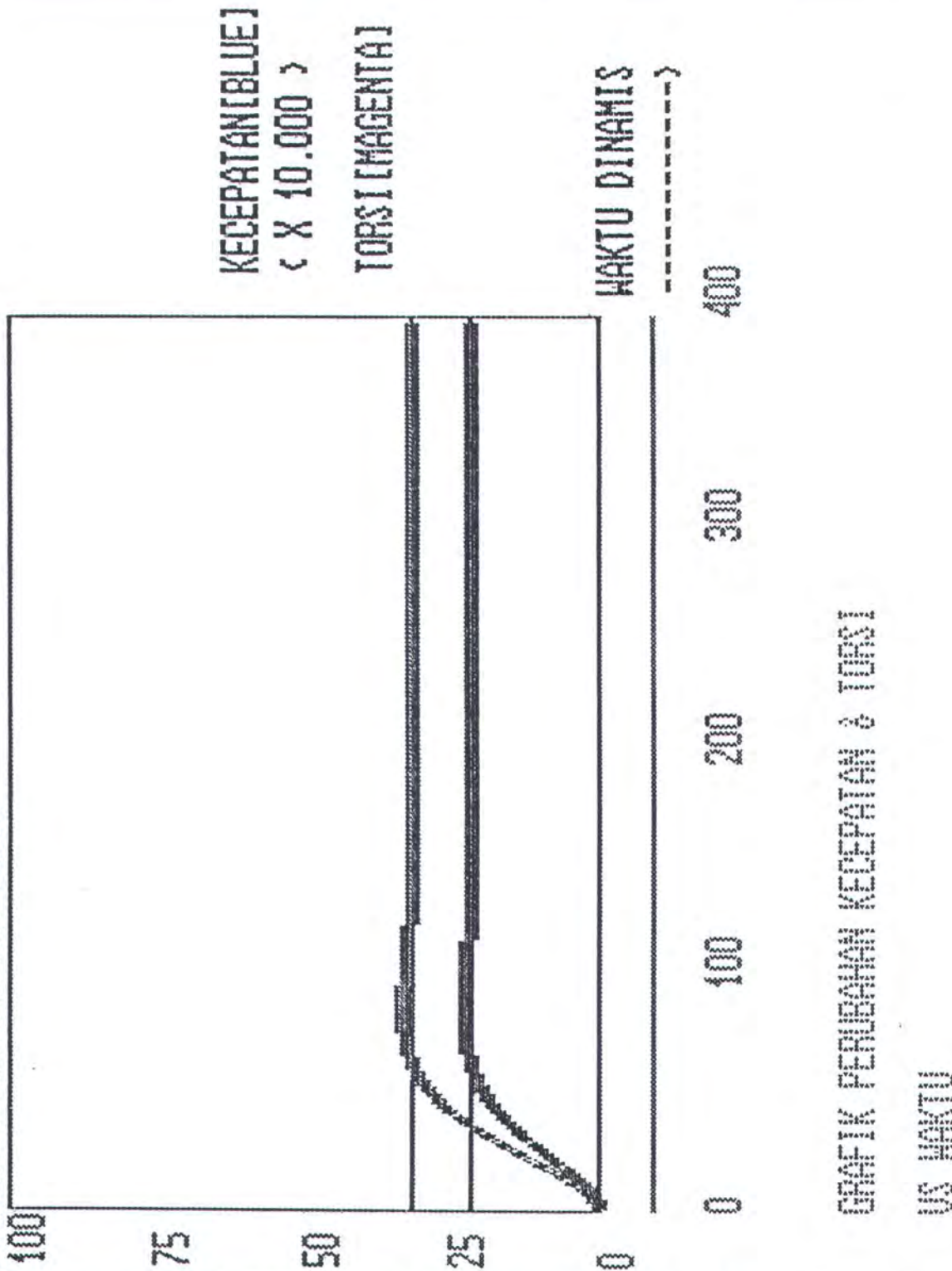
PERUBAHAN KECEPATAN DAN TORSI



Gambar-11 Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200 BHP dengan  
GOVERNOR-2 Input Perubahan RPM.



Gambar-12 Mesin MAN-B&W L42MCE 2240 BHP dengan GOVERNOR-1  
Input Perubahan Torsi.



Gambar-13 Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200 BHP dengan GOVERNOR-2 Input Perubahan Torsi.



#### IV.2.3.1 HASIL NUMERIK PENGUJIAN PROGRAM

Hasil pengujian kehandalan sistem governor pada motor induk kapal secara numerik ditunjukkan pada lampiran di bagian akhir tugas akhir ini. Adapun hasil pengujian tersebut memberikan hasil kesimpulan sebagai berikut :

##### 1. Governor 1

Mesin MAN - B&W L42MCE 2240 BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

Input RPM dan Power Mesin

##### HASIL PENGUJIAN :

Perubahan kecepatan dan perubahan torsi bertambah terus dengan nilai pertambahan yang sangat besar.

Setelah melewati satuan waktu dinamis yang ke-41, ternyata program mengidentifikasi point over flow.

Disini menunjukkan bahwa kestabilan sistem sangat buruk, karena besarnya osilasi yang ditimbulkan akan sulit untuk mencapai nilai kestabilan nol yang menyatakan bahwa sistem governor yang diuji tersebut mempunyai manuver / unjuk kerja yang baik.

Untuk menentukan apakah data yang diperoleh merupakan data sistem governor meskipun tidak stabil, harus

diperiksa dengan simulasi grafik sistem.

**KESIMPULAN :**

Sistem governor ini buruk.

**2. Governor 2**

Mesin Caterpillar 3606MC 2200 BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

Input RPM dan Power Mesin

**HASIL PENGUJIAN :**

Nilai osilasi kecepatan dan torsi berangsur - angsur menurun seiring dengan pertambahan satuan waktu dinamisnya.

Osilasi melampaui nilai nol yang pertama adalah pada  $x = 11$  dan  $x = 12$ , kedua pada  $x = 32$  dan  $x = 33$ , ketiga pada  $x = 53$  dan  $54$ , keempat  $x = 73$  dan  $x = 74$ , dan seterusnya. Nilai kesetabilan nol diperoleh pertama kali pada saat waktu dinamis  $x$  mencapai 281, namun disini nilai osilasi yang diperoleh belum memotong garis kesetabilan nol, melainkan bertambah lagi.

Nilai kesetabilan yang memotong garis nol diperoleh pada saat waktu dinamis  $x = 322$  dan  $x = 323$ .

Kesetabilan mutlak diperoleh pada saat waktu dinamis  $x = 342$ , dan seterusnya.

**KESIMPULAN :**

Sistem governor ini sangat baik, namun harus diperiksa kehandalannya dengan input adanya perubahan torsi.

**3. Governor 1**

Mesin MAN - B&W L42MCE 2240 BHP

Perubahan torsi = 35 N.m

Input perubahan Torsi dan Power mesin

**HASIL PENGUJIAN :**

Sama dengan pengujian governor 1 sebelumnya dan program pengujian menyatakan point over flow.

**KESIMPULAN :**

Sistem governor ini buruk.

**4. Governor 2**

Mesin Caterpillar 3606MC 2200 BHP

Perubahan Torsi = 35 N.m

Input Perubahan Torsi dan Power Mesin

**HASIL PENGUJIAN :**

Nilai osilasi kecepatan dan torsi berangsur - angsur menurun seiring dengan pertambahan satuan waktu dinamisnya.

Osilasi melampaui nilai nol yang pertama adalah pada  $x =$



11 dan  $x = 12$ , kedua pada  $x = 32$  dan  $x = 33$ , ketiga pada  $x = 53$  dan  $54$ , keempat  $x = 73$  dan  $x = 74$ , dan seterusnya. Nilai kesetabilan nol diperoleh pertama kali pada saat waktu dinamis  $x$  mencapai 281.

Nilai kesetabilan nol yang kedua diperoleh pada saat waktu dinamis  $x = 322$  dan  $323$ .

Kesetabilan mutlak diperoleh pada saat waktu dinamis  $x = 342$ , dan seterusnya.

#### KESIMPULAN :

Sistem governor ini sangat baik.

#### IV.2.3.2 HASIL SIMULASI GRAFIK PENGUJIAN PROGRAM

Hasil simulasi grafik pengujian program ini ditunjukkan oleh gambar 10 sampai gambar 13 pada bab IV. Dari simulasi grafik hasil pengujian kehandalan sistem governor pada motor induk kapal tersebut memberikan kesimpulan :

1. Governor 1

Mesin MAN - B&W L42MCE 2240 BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

Input RPM dan Power Mesin

**HASIL PENGUJIAN / KESIMPULAN :**

- Terjadi osilasi yang sangat besar dalam interval waktu yang sangat lama.
- Sistem yang disimulasikan ini berfungsi sebagai governor, meskipun mempunyai unjuk kerja yang sangat buruk.

2. Governor 2

Mesin Caterpillar 3606MC 2200 BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

Input RPM dan Power Mesin

**HASIL PENGUJIAN / KESIMPULAN :**

- Kestabilan yang dihasilkan oleh sistem sangat baik, hal ini ditunjukkan dengan osilasi yang sangat kecil dalam interval waktu yang sangat singkat.
- Sistem yang disimulasikan adalah sistem governor dengan unjuk kerja yang sangat baik.

3. Governor 1

Mesin MAN - B&W L42MCE 2240 BHP

Perubahan torsi = 35 N.m

Input perubahan Torsi dan Power mesin

HASIL PENGUJIAN / KESIMPULAN :

- Sama dengan pengujian governor 1 sebelumnya yang menyatakan unjuk kerja sistem ini buruk, sekalipun masih berfungsi sebagai governor.

#### 4. Governor 2

Mesin Caterpillar 3606MC 2200 BHP

Perubahan Torsi = 35 N.m

Input Perubahan Torsi dan Power Mesin

HASIL PENGUJIAN / KESIMPULAN :

- Sama dengan hasil pengujian governor 2 sebelumnya yang menyatakan unjuk kerja sistem ini sangat baik.





---

B A B V

---

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari karya tulis ini adalah sebagai berikut :

1. Pemakaian dan pengembangan program simulasi komputer sangat membantu bagi seorang marine engineer untuk menyelesaikan tugasnya di bidang teknik pada umumnya dan bagi pemilihan serta pengujian sistem pada khususnya.
2. Pemakaian dan pengembangan program simulasi komputer sangat tepat digunakan sebagai alat ukur kehandalan sistem governor pada motor induk kapal.
3. Persamaan Defierensial Eksak dapat diakui keabsahannya bagi aplikasi perhitungan numerik pemodelan sistem governor pada motor induk kapal.
4. Pengaplikasian Kriteria Kesetabilan Routh pada program simulasi komputer ini sangat bermanfaat bagi pengujian kesetabilan suatu sistem governor pada motor induk kapal.
5. Program simulasi ini bersifat terbuka, karena dapat dipakai sebagai alat penguji berbagai sistem governor. Selain itu, program simulasi ini dapat pula dikembangkan dalam proses design sistem governor.







---

DAFTAR PUSTAKA

---

1. Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems, William E. Boyce 5<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1992.
2. Marine Engine Selection Guide Caterpillar, Caterpillar Asia Pte.Ltd. 150 Beach Road, #11-00 Gateway West, Singapore 0718, 1993.
3. Project Guide Two Stroke MAN-B&W.
4. Woodward UG Dial Governor, Woodward Governor Company, Unit 1, 1 Wirega Ave, P.O. Box 319, Kingsgrove N.S.W.2208, Australia, Phone 61 2 758-2322, Telex : AA 24175.
5. Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1, Katsuhiko Ogata - University of Minnesota, Ir. Edi Leksono - Institut Teknologi Bandung, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
6. Sistem Pengendalian dan Umpan Balik, Joseph J. Distefano, III, Ph.D. - Department of Engineering University of California, Los Angeles, Allen R. Stubberud, Ph.D. - Department of Engineering University of California, Los Angeles, Ivan J. Williams Ph.D.- Nortronics Division, Northrop Corp., Ir. Herman Widodo Soemitro, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.

7. Teori Sistem Pengendalian, Ir. Abdul Munif Azis, Surabaya, 1994.
8. Turbo Pascal Versi 5.0, Jogianto H.M., Penerbit Andi Offset, Jakarta, 1994.
9. Diesel and High Compression Gas Engines, 3dr Edition, Edgar J. Kates, William E. Luck, American Technical Society, Chicago 60637, Printed in United States of America, 1975.







---

Governor 1

Mesin MAN-B&W L42MCE 2240BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

Input Perubahan RPM dan Power Mesin

X =	1				
perub-kecepatan=	75.1144	perub-torsi=	26.0619x 10 <sup>4</sup>		
-----					
X =	2				
perub-kecepatan=	112.8434	perub-torsi=	39.1524x 10 <sup>4</sup>		
-----					
X =	3				
perub-kecepatan=	169.5232	perub-torsi=	58.8181x 10 <sup>4</sup>		
-----					
X =	4				
perub-kecepatan=	254.6725	perub-torsi=	88.3618x 10 <sup>4</sup>		
-----					
X =	5				
perub-kecepatan=	382.5913	perub-torsi=	132.7448x 10 <sup>4</sup>		
-----					

X =	6				4
perub-kecepatan=	574.7621	perub-torsi=	199.4208x	10	4
-----					
X =	7				4
perub-kecepatan=	863.4578	perub-torsi=	299.5873x	10	4
-----					
X =	8				4
perub-kecepatan=	1297.1618	perub-torsi=	450.0662x	10	4
-----					
X =	9				4
perub-kecepatan=	1948.7098	perub-torsi=	676.1288x	10	4
-----					
X =	10				4
perub-kecepatan=	2927.5222	perub-torsi=	1015.7398x	10	4
-----					
X =	11				4
perub-kecepatan=	4397.9796	perub-torsi=	1525.9331x	10	4
-----					
X =	12				4
perub-kecepatan=	6607.0292	perub-torsi=	2292.3901x	10	4
-----					
X =	13				4
perub-kecepatan=	9925.6566	perub-torsi=	3443.8286x	10	4
-----					
X =	14				4
perub-kecepatan=	14911.1886	perub-torsi=	5173.6203x	10	4
-----					
X =	15				4
perub-kecepatan=	22400.8905	perub-torsi=	7772.2645x	10	4
-----					
X =	16				4
perub-kecepatan=	33652.5751	perub-torsi=	11676.1749x	10	4

## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X = 18	perub-kecepatan= 75949.3986	perub-torsi= 26351.5780x 10 <sup>4</sup>
X = 19	perub-kecepatan= 114097.8229	perub-torsi= 39587.6431x 10 <sup>4</sup>
X = 20	perub-kecepatan= 171407.7193	perub-torsi= 59472.0165x 10 <sup>4</sup>
X = 21	perub-kecepatan= 257503.6533	perub-torsi= 89344.0598x 10 <sup>4</sup>
X = 22	perub-kecepatan= 386844.4883	perub-torsi= 134220.4535x 10 <sup>4</sup>
X = 23	perub-kecepatan= 581151.5924	perub-torsi= 201637.6932x 10 <sup>4</sup>
X = 24	perub-kecepatan= 873056.7024	perub-torsi= 302917.7616x 10 <sup>4</sup>
X = 25	perub-kecepatan= 1311582.0649	perub-torsi= 455069.5301x 10 <sup>4</sup>
X = 26	perub-kecepatan= 1970373.1822	perub-torsi= 683645.2115x 10 <sup>4</sup>
X = 27	perub-kecepatan= 2960066.7631	perub-torsi= 1027031.5728x 10 <sup>4</sup>
X = 28	perub-kecepatan= 4446870.9385	perub-torsi= 1542896.5693x 10 <sup>4</sup>
X = 29	perub-kecepatan= 6680478.0859	perub-torsi= 2317874.0428x 10 <sup>4</sup>



TUGAS AKHIR (NE.1701)

X	perub-kecepatan	perub-torsi
30	10035997.9120	3482112.9201x 10 <sup>4</sup>
31	15076952.9970	5231134.2912x 10 <sup>4</sup>
32	22649916.1970	7858667.0222x 10 <sup>4</sup>
33	34026683.2330	11805976.2810x 10 <sup>4</sup>
34	51117856.7620	17735969.1620x 10 <sup>4</sup>
35	76793711.0430	26644522.6210x 10 <sup>4</sup>
36	115366222.8700	40027730.0470x 10 <sup>4</sup>
37	173313220.5500	60133153.6490x 10 <sup>4</sup>
38	260366263.8000	90337277.7720x 10 <sup>4</sup>
39	391144951.9600	135712552.2300x 10 <sup>4</sup>
40	587612124.5900	203879254.3500x 10 <sup>4</sup>
41	882762278.3600	306285230.6000x 10 <sup>4</sup>

Governor 2

Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200 BHP

Perubahan RPM = 50 RPM

### Input Perubahan RPM dan Power Mesin

X =	1				4
perub-kecepatan=		49.4070 perub-torsi=		16.8363x 10	
-----					
X =	2				4
perub-kecepatan=		47.6973 perub-torsi=		16.2537x 10	
-----					
X =	3				4
perub-kecepatan=		44.9886 perub-torsi=		15.3306x 10	
-----					
X =	4				4
perub-kecepatan=		41.4138 perub-torsi=		14.1124x 10	
-----					
X =	5				4
perub-kecepatan=		37.1168 perub-torsi=		12.6482x 10	

## TUGAS AKHIR (NE.1701)

[illegible]



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X =	18				4
perub-kecepatan=	-21.5166	perub-torsi=	-7.3321x	10	
-----					
X =	19				4
perub-kecepatan=	-22.8642	perub-torsi=	-7.7913x	10	
-----					
X =	20				4
perub-kecepatan=	-23.5822	perub-torsi=	-8.0360x	10	
-----					
X =	21				4
perub-kecepatan=	-23.6977	perub-torsi=	-8.0754x	10	
-----					
X =	22				4
perub-kecepatan=	-23.2497	perub-torsi=	-7.9227x	10	
-----					
X =	23				4
perub-kecepatan=	-22.2880	perub-torsi=	-7.5950x	10	
-----					
X =	24				4
perub-kecepatan=	-20.8707	perub-torsi=	-7.1120x	10	
-----					
X =	25				4
perub-kecepatan=	-19.0629	perub-torsi=	-6.4960x	10	
-----					
X =	26				4
perub-kecepatan=	-16.9339	perub-torsi=	-5.7705x	10	
-----					
X =	27				4
perub-kecepatan=	-14.5560	perub-torsi=	-4.9602x	10	
-----					
X =	28				4
perub-kecepatan=	-12.0023	perub-torsi=	-4.0900x	10	
-----					
X =	29				4
perub-kecepatan=	-9.3448	perub-torsi=	-3.1844x	10	

## TUGAS AKHIR (NE.1701)

| X = 30 |

```
|perub-kecepatan=          -6.6530|perub-torsi|=          -2.2671x 10  |
```

| X = 31 |

```
|perub-kecepatan=          -3.9924|perub-torsi|=          -1.3605x 10  |
```

X = 321

perub-kecepatan= -1.4232 | perub-torsi= -0.4850x 10

X = 331

```
perub-kecepatan=          1.0008 | perub-torsi |=          0.3410x 10
```

| X = 34 |

```
|perub-kecepatan=          3.2328|perub-torsi|=          1.1016x 10 |
```

$$|X| = 35$$

|perub-kecepatan= 5.2340 |perub-torsi= 1.7836x 10 |

| X = 36 |

```
|perub-kecepatan=          6.9733|perub-torsi=          2.3763x 10 |
```

| X = 37 |

|perub-kecepatan= 8.4283|perub-torsi= 2.8721x 10 |

$$|X| = 38$$

```
|perub-kecepatan=          9.5846|perub-torsi=          3.2661x 10 |
```

| X = 39 |

```
|perub-kecepatan=      10.4360|perub-torsi=      3.5562x 10 |
```

$$|X| = 40$$

|perub-kecepatan= 10.9835|perub-torsi= 3.7428x 10

| X = 41

```
|perub-kecepatan=      11.2356|perub-torsi=      3.8287x 10 |
```



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

| X = 52 |

```
|perub-kecepatan=      1.5176|perub-torsi=      0.5171x 10  |
```

X = 531

perub-kecepatan= 0.3169 | perub-torsi= 0.1080x 10

X = 541

perub-kecepatan= -0.8077 | perub-torsi= -0.2752x 10

| X = 55 |

```
|perub-kecepatan=          -1.8352|perub-torsi=          -0.6254x 10 |
```

| X = 56 |

```
|perub-kecepatan=          -2.7483|perub-torsi|=          -0.9365x 10 |
```

| X = 57 |

```
|perub-kecepatan=          -3.5335|perub-torsi=          -1.2041x 10 |
```

| X = 72 |

```
|perub-kecepatan=          -1.1316|perub-torsi|=          -0.3856x 10 |
```

X = 731

```
perub-kecepatan=      -0.5436|perub-torsi|=      -0.1852x 10
```

X = 74

perub-kecepatan= 0.0163 | perub-torsi= 0.0056x 10<sup>-3</sup>

$$|X| = 75$$

|perub-kecepatan= 0.5369 |perub-torsi= 0.1829x 10<sup>-1</sup>

| X = 76 |

|perub-kecepatan= 1.0087 |perub-torsi= 0.3437x 10<sup>-3</sup>

| X = 77 |

```
|perub-kecepatan=      1.4240|perub-torsi|=      0.4853x 10-1
```



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

| X = 92 |

```
|perub-kecepatan=          0.7357|perub-torsi=          0.2507x 10 |
```

| X = 93 |

```
|perub-kecepatan=          0.4510|perub-torsi|=          0.1537x 10 |
```

X = 941

perub-kecepatan=	0.1754	perub-torsi=	0.0598 x 10
------------------	--------	--------------	-------------

$$X = 95$$

perub-kecepatan=	-0.0851	perub-torsi=	-0.0290x 10
------------------	---------	--------------	-------------

| X = 96 |

```
|perub-kecepatan=      -0.3255|perub-torsi|=      -0.1109x 10 |
```

| X = 97 |

```
|perub-kecepatan=          -0.5415|perub-torsi|=          -0.1845x 10 |
```

| X = 114 |

|perub-kecepatan= -0.1736 |perub-torsi= -0.0592x 10

X = 115

$$\text{perub-kecepatan} = -0.0448 \quad \text{perub-torsi} = -0.0152 \times 10$$

X = 116

perub-kecepatan=	0.0762	perub-torsi=	0.0260x 10 <sup>-3</sup>
------------------	--------	--------------	--------------------------

| X = 117 |

```
|perub-kecepatan=      0.1869|perub-torsi=      0.0637x 10-3|
```

| X = 118

|perub-kecepatan= 0.2856 |perub-torsi= 0.0973x 10<sup>-3</sup>

| X = 119

|perub-kecepatan= 0.3707 |perub-torsi= 0.1263x 10<sup>-1</sup>

TUGAS AKHIR (NE.1701)

[illegible]



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

[illegible]



TUGAS AKHIR (NE.1701)

```
| X =      382 |
|perub-kecepatan=      0.0000|perub-torsi|=      0.0000x 104 |
-----
| X =      383 |
|perub-kecepatan=      0.0000|perub-torsi|=      0.0000x 104 |
-----
| X =      384 |
|perub-kecepatan=      0.0000|perub-torsi|=      0.0000x 104 |
-----
| X =      385 |
|perub-kecepatan=     -0.0000|perub-torsi|=     -0.0000x 104 |
-----
| X =      386 |
|perub-kecepatan=     -0.0000|perub-torsi|=     -0.0000x 104 |
-----
| X =      387 |
|perub-kecepatan=     -0.0000|perub-torsi|=     -0.0000x 104 |
```

Governor 1

Mesin MAN-B&W L42MCE 2240 BHP

Perubahan Torsi = 35 N.m

### Input Perubahan Torsi dan Power Mesin

[illegible]

## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X = 6	perub-kecepatan= 284.8868	perub-torsi= 402.3335x 10 <sup>4</sup>
X = 7	perub-kecepatan= 427.9819	perub-torsi= 604.4205x 10 <sup>4</sup>
X = 8	perub-kecepatan= 642.9518	perub-torsi= 908.0133x 10 <sup>4</sup>
X = 9	perub-kecepatan= 965.8983	perub-torsi= 1364.0969x 10 <sup>4</sup>
X = 10	perub-kecepatan= 1451.0569	perub-torsi= 2049.2655x 10 <sup>4</sup>
X = 11	perub-kecepatan= 2179.9044	perub-torsi= 3078.5857x 10 <sup>4</sup>
X = 12	perub-kecepatan= 3274.8429	perub-torsi= 4624.9205x 10 <sup>4</sup>
X = 13	perub-kecepatan= 4919.7552	perub-torsi= 6947.9596x 10 <sup>4</sup>
X = 14	perub-kecepatan= 7390.8862	perub-torsi= 10437.8321x 10 <sup>4</sup>
X = 15	perub-kecepatan= 11103.2350	perub-torsi= 15680.6234x 10 <sup>4</sup>
X = 16	perub-kecepatan= 16680.2498	perub-torsi= 23556.8026x 10 <sup>4</sup>
X = 17	perub-kecepatan= 25058.5287	perub-torsi= 35389.0872x 10 <sup>4</sup>



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X = 18	perub-kecepatan = 37645.1115	perub-torsi = 53164.5790x 10 <sup>4</sup>
X = 19	perub-kecepatan = 56553.7758	perub-torsi = 79868.4760x 10 <sup>4</sup>
X = 20	perub-kecepatan = 84960.0236	perub-torsi = 119985.4035x 10 <sup>4</sup>
X = 21	perub-kecepatan = 127634.3712	perub-torsi = 180252.5573x 10 <sup>4</sup>
X = 22	perub-kecepatan = 191743.5050	perub-torsi = 270791.1418x 10 <sup>4</sup>
X = 23	perub-kecepatan = 288053.8475	perub-torsi = 406806.1147x 10 <sup>4</sup>
X = 24	perub-kecepatan = 432739.6595	perub-torsi = 611139.6916x 10 <sup>4</sup>
X = 25	perub-kecepatan = 650099.3287	perub-torsi = 918107.4454x 10 <sup>4</sup>
X = 26	perub-kecepatan = 976636.0164	perub-torsi = 1379261.2276x 10 <sup>4</sup>
X = 27	perub-kecepatan = 1467187.9611	perub-torsi = 2072046.7342x 10 <sup>4</sup>
X = 28	perub-kecepatan = 2204137.9562	perub-torsi = 3112809.6570x 10 <sup>4</sup>
X = 29	perub-kecepatan = 3311248.6326	perub-torsi = 4676334.6601x 10 <sup>4</sup>

TUGAS AKHIR (NE.1701)

---

```

! X =      30!
!perub-kecepatan=  4974447.0287!perub-torsi=  7025198.5387x 10 !
! X =      31!
!perub-kecepatan=  7473048.9874!perub-torsi=  10553867.0980x 10 !
! X =      32!
!perub-kecepatan=  11226667.1750!perub-torsi=  15854941.3380x 10 !
! X =      33!
!perub-kecepatan=  16865680.4020!perub-torsi=  23818678.2630x 10 !
! X =      34!
!perub-kecepatan=  25337098.8020!perub-torsi=  35782499.7340x 10 !
! X =      35!
!perub-kecepatan=  38063603.7450!perub-torsi=  53755597.7300x 10 !

! X =      36!
!perub-kecepatan=  57182471.4950!perub-torsi=  80756356.0070x 10 !
! X =      37!
!perub-kecepatan=  85904505.2130!perub-torsi=  121319254.3800x 10 !
! X =      38!
!perub-kecepatan=  129053253.9600!perub-torsi=  182256384.6600x 10 !
! X =      39!
!perub-kecepatan=  193875074.6100!perub-torsi=  273801466.3700x 10 !
! X =      40!
!perub-kecepatan=  291256077.6400!perub-torsi=  411328487.2100x 10 !
! X =      41!
!perub-kecepatan=  437550329.4200!perub-torsi=  617933594.8600x 10 !

```

---

Governor 2

Mesin CATERPILLAR 3606MC 2200BHP

Perubahan Torsi = 35 N.m

### Input Perubahan Torsi dan Power Mesin

[illegible]



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X =	6				4
perub-kecepatan=		15.6990   perub-torsi=		22.5741x 10	4
-----					
X =	7				4
perub-kecepatan=		13.1259   perub-torsi=		18.8742x 10	4
-----					
X =	8				4
perub-kecepatan=		10.4241   perub-torsi=		14.9891x 10	4
-----					
X =	9				4
perub-kecepatan=		7.6657   perub-torsi=		11.0228x 10	4
-----					
X =	10				4
perub-kecepatan=		4.9195   perub-torsi=		7.0739x 10	4
-----					
X =	11				4
perub-kecepatan=		2.2488   perub-torsi=		3.2337x 10	4
-----					
X =	12				4
perub-kecepatan=		-0.2889   perub-torsi=		-0.4154x 10	4
-----					
X =	13				4
perub-kecepatan=		-2.6434   perub-torsi=		-3.8011x 10	4
-----					
X =	14				4
perub-kecepatan=		-4.7724   perub-torsi=		-6.8623x 10	4
-----					
X =	15				4
perub-kecepatan=		-6.6414   perub-torsi=		-9.5500x 10	4
-----					
X =	16				4
perub-kecepatan=		-8.2249   perub-torsi=		-11.8269x 10	4
-----					
X =	17				4
perub-kecepatan=		-9.5056   perub-torsi=		-13.6684x 10	4

## TUGAS AKHIR (NE.1701)

X	perub-kecepatan	perub-torsi
18	-10.4745	-15.0616x 10 <sup>4</sup>
19	-11.1305	-16.0049x 10 <sup>4</sup>
20	-11.4800	-16.5076x 10 <sup>4</sup>
21	-11.5363	-16.5884x 10 <sup>4</sup>
22	-11.3182	-16.2748x 10 <sup>4</sup>
23	-10.8500	-15.6016x 10 <sup>4</sup>
24	-10.1601	-14.6095x 10 <sup>4</sup>
25	-9.2800	-13.3440x 10 <sup>4</sup>
26	-8.2436	-11.8537x 10 <sup>4</sup>
27	-7.0860	-10.1892x 10 <sup>4</sup>
28	-5.8428	-8.4016x 10 <sup>4</sup>
29	-4.5491	-6.5413x 10 <sup>4</sup>



TUGAS AKHIR (NE.1701)

X =	30				4
perub-kecepatan=		-3.2387   perub-torsi=		-4.6571x 10	
-----					
X =	31				4
perub-kecepatan=		-1.9435   perub-torsi=		-2.7947x 10	
-----					
X =	32				4
perub-kecepatan=		-0.6928   perub-torsi=		-0.9962x 10	
-----					
X =	33				4
perub-kecepatan=		0.4872   perub-torsi=		0.7006x 10	
-----					
X =	34				4
perub-kecepatan=		1.5738   perub-torsi=		2.2630x 10	
-----					
X =	35				4
perub-kecepatan=		2.5479   perub-torsi=		3.6638x 10	
-----					
X =	36				4
perub-kecepatan=		3.3947   perub-torsi=		4.8813x 10	
-----					
X =	37				4
perub-kecepatan=		4.1030   perub-torsi=		5.8998x 10	
-----					
X =	38				4
perub-kecepatan=		4.6659   perub-torsi=		6.7092x 10	
-----					
X =	39				4
perub-kecepatan=		5.0803   perub-torsi=		7.3052x 10	
-----					
X =	40				4
perub-kecepatan=		5.3469   perub-torsi=		7.6885x 10	
-----					
X =	41				4
perub-kecepatan=		5.4696   perub-torsi=		7.8649x 10	



## TUGAS AKHIR (NE.1701)

| X = 52 |

|perub-kecepatan= 0.7388 |perub-torsi= 1.0623x 10<sup>4</sup> |

**X = 531**

X = 53 |

perub-kecepatan= 0.1543 | perub-torsi= 0.2219 x 10<sup>4</sup>

**X = 54 |**

X = 54 |

perub-kecepatan= -0.3932 | perub-torsi= -0.5654x 10<sup>4</sup>

| X = 55 |

|perub-kecepatan= -0.8934 |perub-torsi= -1.2846x 10<sup>4</sup> |

| X = 56 |

|perub-kecepatan= -1.3379 |perub-torsi= -1.9238x 10<sup>4</sup> |

| X = 57 |

|perub-kecepatan= -1.7201 |perub-torsi= -2.4734x 10<sup>4</sup> |

| X = 72 |

$$|perub-kecepatan| = -0.5509 \quad |perub-torsi| = -0.7921 \times 10^{-4}$$

X = 731

X = 73 |

perub-kecepatan= -0.2646 | perub-torsi= -0.3805x 10<sup>4</sup>

X = 741

```
X =          74 |  
perub-kecepatan=      0.0079|perub-torsi|=      0.0114x 104
```

| X = 75 |

|perub-kecepatan= 0.2613 |perub-torsi= 0.3758x 10<sup>4</sup>

| X = 76 |

|perub-kecepatan= 0.4910 |perub-torsi= 0.7061x 10<sup>4</sup>

| X = 77 |

|perub-kecepatan= 0.6932 |perub-torsi= 0.9968x 10<sup>4</sup>

TUGAS AKHIR (NE.1701)

X = 92				4
perub-kecepatan=	0.3582	perub-torsi=	0.5150x 10	
X = 93				4
perub-kecepatan=	0.2195	perub-torsi=	0.3157x 10	
X = 94				4
perub-kecepatan=	0.0854	perub-torsi=	0.1228x 10	
X = 95				4
perub-kecepatan=	-0.0414	perub-torsi=	-0.0596x 10	
X = 96				4
perub-kecepatan=	-0.1584	perub-torsi=	-0.2278x 10	
X = 97				4
perub-kecepatan=	-0.2636	perub-torsi=	-0.3791x 10	
X = 114				4
perub-kecepatan=	-0.0845	perub-torsi=	-0.1215x 10	
X = 115				4
perub-kecepatan=	-0.0218	perub-torsi=	-0.0313x 10	
X = 116				4
perub-kecepatan=	0.0371	perub-torsi=	0.0533x 10	
X = 117				4
perub-kecepatan=	0.0910	perub-torsi=	0.1309x 10	
X = 118				4
perub-kecepatan=	0.1390	perub-torsi=	0.1999x 10	
X = 119				4
perub-kecepatan=	0.1805	perub-torsi=	0.2595x 10	



TUGAS AKHIR (NE.1701)

X = 278			
perub-kecepatan=	-0.0005	perub-torsi=	-0.0007x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 279			
perub-kecepatan=	-0.0003	perub-torsi=	-0.0004x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 280			
perub-kecepatan=	-0.0001	perub-torsi=	-0.0002x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 281			
perub-kecepatan=	0.0000	perub-torsi=	0.0000x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 282			
perub-kecepatan=	0.0002	perub-torsi=	0.0002x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 283			
perub-kecepatan=	0.0003	perub-torsi=	0.0004x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 300			
perub-kecepatan=	0.0001	perub-torsi=	0.0002x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 301			
perub-kecepatan=	0.0000	perub-torsi=	0.0001x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 302			
perub-kecepatan=	-0.0000	perub-torsi=	-0.0000x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 303			
perub-kecepatan=	-0.0001	perub-torsi=	-0.0001x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 304			
perub-kecepatan=	-0.0002	perub-torsi=	-0.0002x 10 <sup>4</sup>
-----			
X = 305			
perub-kecepatan=	-0.0002	perub-torsi=	-0.0003x 10 <sup>4</sup>
-----			



TUGAS AKHIR (NE.1701)

[illegible]